



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 145501

**PERENCANAAN ULANG STRUKTUR BETON
BERTULANG PADA GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA DENGAN METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)**

Mahasiswa:

PUTRI BARROTUT TAQIYAH
NRP. 3113.030.060

YOGI DWI HAKIKI PUTRA
NRP. 3113.030.078

Dosen Pembimbing 1:
Ir. Chomaedhi, CES.Geo
NIP: 195503191984031001

Dosen Pembimbing 2:
Ir. Ibnu Pudji Raharjo, MS
NIP: 196001051986031003

JURUSAN DIPLOMA TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL APPLIED PROJECT - RC 145501

REDESIGN OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURAL OF SMP MUHAMMADIYAH 5 SURABAYA BUILDING BY USING INTERMEDIATE MOMENT FRAME SYSTEM BEARERS METHOD

Students:

PUTRI BARROTUT TAQIYAH
NRP. 3113.030.060

YOGI DWI HAKIKI PUTRA
NRP. 3113.030.078

Consellor Lecturer 1:
Ir. Chomaedhi, CES.Geo
NIP: 195503191984031001

Consellor Lecturer 2:
Ir. Ibnu Pudji Raharjo, MS
NIP: 196001051986031003

DIPLOMA III CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

**PERENCANAAN ULANG STRUKTUR BETON
BERTULANG PADA GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA DENGAN METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)**

TUGAS AKHIR TERAPAN

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik
pada
Program Studi Diploma III Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Disusun oleh:

MAHASISWA I



PUTRI BARROTUT TAOIYAH
NRP. 3113.030.060

MAHASISWA II



YOGI DWI HAKIKI PUTRA
NRP. 3113.030.078

Disetujui Oleh:

PEMBIMBING I



Ir. CHOMAEDHI, CES. Geo
NIP: 195503191984031001

PEMBIMBING II



12 JUL 2016

Ir. IBNU PUDJI RAHARDJO, MS
NIP: 196001051986031003

**LEMBAR PERNYATAAN
PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini saya :

Nama : Putri Barrotut Taqiyah / Yogi Dwi Hakiki Putra
Nrp. : 3113030060 / 3113030078
Jurusan / Fak. : Diploma III Teknik Sipil FTSP ITS
Alamat kontak :
a. Email : Putrybar@gmail.com / yogidwi.hp@gmail.com
b. Telp/HP : 085609911297 / 087855771290

Menyatakan bahwa semua data yang saya *upload* di Digital Library ITS merupakan hasil final (revisi terakhir) dari karya ilmiah saya yang sudah disahkan oleh dosen penguji. Apabila dikemudian hari ditemukan ada ketidaksesuaian dengan kenyataan, maka saya bersedia menerima sanksi.

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif** (*Non-Exclusive Royalti-Free Right*) kepada Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas karya ilmiah saya yang berjudul :

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR BETON BERTULANG PADA
GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5 SURABAYA DENGAN METODE
SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta. Saya bersedia menanggung secara pribadi, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya Ilmiah saya ini tanpa melibatkan pihak Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.



Dibuat di : Surabaya

Pada tanggal :

Yang menyatakan,


Putri Barrotut T.

Nrp. 3113030060


Yogi dwi Hakiki P.

3113030078

KETERANGAN :

Tanda tangan pembimbing wajib dibubuhi stempel jurusan.

Form dicetak dan diserahkan di bagian Pengadaan saat mengumpulkan hard copy TA/Tesis/Disertasi.

**PERENCANAAN ULANG STRUKTUR BETON
BERTULANG PADA GEDUNG SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA DENGAN METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)**

Nama Mahasiswa 1 : Putri Barrotut Taqiyah
NRP : 3113.030.060
Nama Mahasiswa 2 : Yogi Dwi Hakiki Putra
NRP : 3113.060.078
Jurusan : Diploma III Teknik Sipil FTSP – ITS
Dosen Pembimbing 1 : Ir. Chomaedi, CES.Geo
Dosen Pembimbing 2 : Ir. Ibnu Pudji Raharjo, MS

ABSTRAK

Gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya merupakan gedung 7 lantai yang direncanakan agar mampu memikul beban gempa dengan probabilitas keruntuhan bangunan 2% dalam 50 tahun. Berdasarkan data tanah yang ada, gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya termasuk pada Kategori Desain Seismik C dan dibangun pada tanah keras. Perencanaan gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

Perhitungan struktur menggunakan acuan SNI 2847-2013 dengan kontrol perhitungan manual dan kontrol dengan program SAP 2000 dan untuk pembebanan pada setiap lantai direncanakan berdasarkan PPIUG 1983. Sedangkan pembebanan gempa didasarkan pada SNI 1726-2012. Untuk perencanaan perhitungan beban gempa menggunakan metode analisa respon spektrum. Metodologi perencanaan dari gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya meliputi pengumpulan data, preliminary disain, pembebanan bangunan, analisis gaya dalam, perhitungan struktur atas, perhitungan struktur bawah dan diaplikasikan dalam gambar rencana.

Dari analisis perhitungan yang dilakukan, diperoleh hasil dimensi struktur dan penulangan beton bertulang yang terdiri dari struktur Pelat, Tangga, Balok, Kolom dan Sloof. Untuk struktur bawah dari bahan beton bertulang menggunakan pondasi borpile. Hasil perhitungan ini adalah bangunan mampu menahan gaya gempa yang terjadi.

Kata kunci: SRPMM, Analisa Respon Spektrum

**REDESIGN OF REINFORCED CONCRETE
STRUCTURAL OF SMP MUHAMMADIYAH 5
SURABAYA BUILDING BY USING INTERMEDIATE
MOMENT FRAME SYSTEM BEARERS METHOD**

Student name 1 : Putri Barrotut Taqiyah
NRP : 3113.030.060
Student name 2 : Yogi Dwi Hakiki Putra
NRP : 3113.060.078
Jurusan : Diploma III Civil Engineering
FTSP – ITS
Consellor lecturer 1 : Ir. Chomaedi, CES.Geo
Consellor lecturer 2 : Ir. Ibnu Pudji Raharjo, MS

ABSTRACT

SMP Muhammadiyah 5 Surabaya is school building which has 7 floors. It planned to withstand the load of earthquake with building collapse is 2% in 50 years probably. Based on Standart Penetration Test (SPT) result, it categorized in Design Seismic C, it also build on the hard soil. The building designed by using Intermediate Moment Frame System Bearers Method (SRPMM).

At the other hand, Standart of SNI 03-2847-2013 was applied for the structural calculation with manual control and SAP 2000 program control. PPIUG 1983 was applied for platform loading and SNI 03-1726-2012 applied for designing earthquake loading. While designing the earthquake loading was used the respon spectra analysis. To redesign needs some methodology of data collection, preliminary design, platform loading, the force structure analysis, bottom structure calculation, upper structure calculation. It applied in the design at all.

From the calculation analysis observed in this research has gained some results and reinforcement of reinforced concrete which consist of structure plates, stairs, beams, columns and tie beam. Meanwhile, the underground from reinforced concrete was

bored pile foundation. And finally, this calculation result is that the building is able to withstand the load of earthquake.

Keywords: Intermediate Moment Frame System Bearers Method (SRPMM), Respon Spectra Analysisi

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kami panjatkan kepada Allah SWT atas berkah dan rahmatnya, penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul “Perencanaan Ulang Struktur Beton Bertulang Gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)”. Penulis memilih judul tersebut agar bisa merencanakan gedung dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah berdasarkan Kategori Desain Seismik wilayah Surabaya..

Tersusunnya Laporan Tugas Akhir ini tidak lepas dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada:

1. Kedua orang tua dan saudara-saudara kami tercinta, sebagai penyemangat terbesar bagi kami, yang telah banyak memberikan dukungan moril maupun materiil, serta do'anya.
2. Bapak Mahsus, ST. MT. selaku koordinator Program Studi Diploma Teknik Sipil.
3. Bapak Ir. Chomaedi, CES.Geo dan Bapak Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, MS selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan dan motivasi dalam penyusunan proposal tugas akhir.
4. Teman-teman terdekat kami yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuan dan saran-saran yang telah diberikan selama proses pengerjaan proposal tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan proposal tugas akhir ini masih banyak kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan proposal tugas akhir ini.

Akhir kata, semoga apa yang penulis sajikan dalam laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, penulis dan semua pihak.

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR NOTASI.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum	5
2.2 Dilatasi.....	5
2.3 Sistem Rangka Pemikul Momen	8
2.4 Pembebanan dan Kombinasi Beban pada Struktur Rangka Pemikul Momen	9
2.5 Syarat-syarat dan perumusan pada Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).....	21
2.6 Perencanaan Struktur Atas.....	21

2.6.1 Perencanaan Pelat.....	21
2.6.2 Perencanaan Tangga.....	28
2.6.3 Perencanaan Balok	29
2.6.4 Perencanaan Kolom.....	37
2.7 Perencanaan Struktur Bawah.....	42
2.7.1 Pondasi	42
BAB III METODOLOGI.....	43
3.1 Pengumpulan Data	45
3.2 Preliminary Design	45
3.3 Perhitungan Pembebanan	45
3.4 Analisa Gaya Dalam (M,N,D)	46
3.5 Perhitungan Penulangan	46
3.6 Cek Persyaratan	47
3.7 Gambar Rencana	47
3.8 Diagram Alur	49
3.8.1 Gempa.....	49
3.8.2 Pelat.....	51
3.8.4 Balok	57
3.8.5 Kolom.....	63
3.8.6 Pilecap	68
3.8.7 Pondasi Borepile	73
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	75
4.1 Perencanaan Awal Struktur	75
4.1.1 Perhitungan Dimensi Balok	75

4.1.2 Perhitungan Dimensi Kolom	79
4.1.3 Perhitungan Dimensi Kolom Lingkaran	81
4.1.4 Perhitungan Dimensi Sloof	83
4.1.5 Perhitungan Dimensi Pelat	85
4.1.6 Perhitungan Dimensi Tangga	85
4.2 Perhitungan Struktur.....	112
4.2.1 Pembebanan Struktur.....	112
4.2.2 Perhitungan Pelat.....	128
4.2.3 Perhitungan Tangga	151
4.2.4 Perhitungan Balok	165
4.2.5 Perhitungan Kolom.....	258
4.3 Perencanaan Struktur Bawah	278
4.3.1 Perhitungan Pondasi	278
BAB V PENUTUP	339
5.1 Kesimpulan	339
5.2 Saran.....	342
DAFTAR PUSTAKA	343

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Dilatasi dengan dua kolom	7
Gambar 2. 2 Dilatasi dengan balok kantilever.....	7
Gambar 2. 3 Peta Respon Spektra percepatan 0.2 detik (Ss) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun.	12
Gambar 2. 4 Peta Respon Spektra percepatan 1 detik untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun.	13
Gambar 2. 5 Ketidak Beraturan Sudut Dalam	19
Gambar 2. 6 Spektrum Respon Desain	20
Gambar 2. 7 Dimensi Bidang Pelat.....	21
Gambar 2. 8 Dimensi Bidang Pelat.....	23
Gambar 2. 9 Perpanjangan minimum untuk tulangan kedalam tumpuan	27
Gambar 2. 10 Gaya Lintang rencana pada balok SRPMM	33
Gambar 2. 11 Gaya Lintang rencana pada kolom SRPMM	41
Gambar 3. 1 Flow Chart Perencanaan Struktur Bangunan.....	44
Gambar 3. 2 flow Chart Gempa (Respon Spektrum)	51
Gambar 3. 3 Flow Chart Perhitungan Pelat	53
Gambar 3. 4 Flow Chart Perhitungan Tangga	56
Gambar 3. 5 flow Chart Perhitungan Tulangan Torsi Balok.....	58
Gambar 3. 6 Flow Chart Perhitungan Lentur Balok	60
Gambar 3. 7 Flow Chart Perhitungan Geser Balok	62
Gambar 3. 8 Flow Chart Perhitungan Lentur Kolom.....	66
Gambar 3. 9 Flow Chart Perhitungan Geser Kolom	68
Gambar 3. 10 Flow Chart Perhitungan Pilecap	72
Gambar 3. 11 Flow Chart Perhitungan Borepile	73
Gambar 4. 1 Balok Induk Yang Ditinjau	76
Gambar 4. 2 Balok Anak Yang Ditinjau	77
Gambar 4. 3 Balok Kantilever Yang Ditinjau	78
Gambar 4. 4 Kolom Yang Ditinjau.....	80
Gambar 4. 5 Kolom Lingkaran Yang Ditinjau	82

Gambar 4. 6 Sloof Yang Ditinjau	84
Gambar 4. 7 Gambar Perencanaan Tangga Tipe 1	87
Gambar 4. 8 Perencanaan Panjang Miring Tangga Tipe 1.....	87
Gambar 4. 9 Panjang Miring Anak Tangga Tipe 1.....	88
Gambar 4. 10 Perencanaan Tangga Tipe 2	90
Gambar 4. 11 Panjang Miring Tangga Tipe 2.....	91
Gambar 4. 12 Panjang Miring Anak Tangga Tipe 2.....	91
Gambar 4. 13 Perencanaan Tangga Tipe 3	93
Gambar 4. 14 Panjang Miring Tangga Tipe 3.....	94
Gambar 4. 15 Panjang Miring Anak Tangga Tipe 3.....	94
Gambar 4. 16 Perencanaan Tangga Tipe 4	96
Gambar 4. 17 Panjang Miring Tangga Tipe 4.....	97
Gambar 4. 18 Panjang Miring Anak Tangga Tipe 4.....	97
Gambar 4. 19 Perencanaan Tangga Tipe 5	99
Gambar 4. 20 Panjang Miring Tangga Tipe 5.....	100
Gambar 4. 21 Panjang Miring Anak Tangga Tipe 5.....	100
Gambar 4. 22 Perencanaan Tangga Tipe 6	102
Gambar 4. 23 Panjang Miring Tangga Tipe 6.....	103
Gambar 4. 24 Panjang Miring Tangga Tipe 6.....	103
Gambar 4. 25 Perencanaan Tangga Tipe 7	105
Gambar 4. 26 Panjang Miring Tangga Tipe 7.....	106
Gambar 4. 27 Panjang Miring Anak Tangga Tipe 7.....	106
Gambar 4. 28 Perencanaan Tangga tipe 8.....	109
Gambar 4. 29 Panjang Miring Tangga Tipe 8.....	110
Gambar 4. 30 Panjang Miring Anak Tangga Tipe 8.....	110
Gambar 4. 31 Ketidak Beraturan Sudut Dalam.....	117
Gambar 4. 32 Bangunan Tidak Beraturan Sudut Dalam.....	117
Gambar 4. 33 Respon Spektrum periode 2500 tahun	122
Gambar 4. 34 Hasil Modifikasi Input Data Respon Spektrum..	124
Gambar 4. 35 Kotak Dialog Load Case Data - Respon Spektrum	125
Gambar 4. 36 Kotak Dialog Load Case Data - Respon Spektrum	126

Gambar 4. 37 Momen Pelat Berdasarkan PPBI 1971	129
Gambar 4. 38 Tangga Tipe 1	153
Gambar 4. 39 Penulangan Tangga Tampak Atas.....	163
Gambar 4. 40 Bidang Geser Balok Induk	167
Gambar 4. 41 Penampang Balok	167
Gambar 4. 42 Penulangan Balok Induk 8 meter	208
Gambar 4. 43 Bidang Geser Balok	211
Gambar 4. 44 Penampang Balok	211
Gambar 4. 45 Faktor Kekakuan Kolom	264
Gambar 4. 46 Diagram Interaksi.....	267
Gambar 4. 47 Hasil PCACOL kolom	272
Gambar 4. 48 Detail Penulangan Kolom.....	277
Gambar 4. 49 Nilai q_d/N	281
Gambar 4. 50 Arah Momen Pilecap Tipe 1	296
Gambar 4. 51 Geser Arah Y Pilecap Tipe 1	301
Gambar 4. 52 Penulangan Pilecap Tipe 1	304
Gambar 4. 53 Diagram Interaksi Borepile	305
Gambar 4. 54 Hasil output SAP 2000 Kombinasi Ultimate.....	306
Gambar 4. 55 Diagram Interaksi Borepile	307
Gambar 4. 56 Tulangan Borepile.....	308
Gambar 4. 57 Hasil Output PCACOL Borepile	309
Gambar 4. 58 Tulangan Geser Borepile	311
Gambar 4. 59 Detail Penulangan Pondasi Tipe 1	312
Gambar 4. 60 Pondasi Tipe 2	313
Gambar 4. 61 Arah Momen X Pilecap Tipe 2	322
Gambar 4. 62 Arah Momen Y Pilecap Tipe 2	327
Gambar 4. 63 Diagram Interaksi Borepile	331
Gambar 4. 64 Hasil Output SAP2000 Kombinasi Ultimate.....	332
Gambar 4. 65 Diagram Interaksi Borepile	333
Gambar 4. 66 Tulangan Borepile.....	334
Gambar 4. 67 Detail Penulangan Pondasi Tipe 2	338

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kategori Risiko Gempa	10
Tabel 2. 2 Faktor Keutamaan Gempa	11
Tabel 2. 3 Klasifikasi Situs.....	14
Tabel 2. 4 Koefisien situs (F_a).....	15
Tabel 2. 5 Koefisien situs (F_v)	16
Tabel 2. 6 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek	16
Tabel 2. 7 Ketidakberaturan Struktur Horizontal	17
Tabel 2. 8 Tebal minimum balok non-prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung.....	22
Tabel 2. 9 Tebal minimum balok non-prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung	24
Tabel 2. 10 Syarat Pelindung Beton.....	30
Tabel 2. 11 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir	36
Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Standart Penetration	118
Tabel 4. 2 Respon Spektrum Desain	121
Tabel 4. 3 Intensitas Gaya Geser Dinding Tiang	278
Tabel 4. 4 Perhitungan Gaya tiap Tiang	288
Tabel 4. 5 Perhitungan Gaya Tiap Tiang	313
Tabel 4. 6 Gaya tiap Tiang Kombinasi Ultimate	320
Tabel 4. 7 Gaya tiap Tiang Kombinasi Ultimate	325

DAFTAR NOTASI

A_{cp}	= Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton (mm^2)
A_l	= Luas total tulangan longitudinal yang menahan torsi (mm^2)
A_o	= Luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser (mm^2)
A_{oh}	= Luas daerah yang dibatasi oleh garis pusat tulangan sengkang torsi terluar (mm^2)
A_s	= Luas tulangan tarik non prategang (mm^2)
A_{sc}	= Luas tulangan tulangan longitudinal / lentur rencana yang diperhitungkan dalam memikul momen lentur (mm^2)
A_{cp}	= Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton
A_s'	= Luas tulangan tekan non prategang (mm^2)
A_t	= Luas satu kaki sengkang tertutup pada daerah sejarak s untuk menahan torsi (mm^2)
A_v	= Luas tulangan geser pada daerah sejarak s atau Luas tulangan geser yang tegak lurus terhadap tulangan lentur tarik dalam suatu daerah sejarak s pada komponen struktur lentur tinggi (mm^2)
b_o	= Keliling dari penampang kritis yang terdapat tegangan geser maksimum pada pondasi (mm)
b_w	= Lebar badan balok atau diameter penampang bulat (mm)
C_c	= selimut bersih dari permukaan tarik terdekat ke permukaan tulangan tarik lentur
C_m	= faktor yang menghubungkan diagram momen aktual dengan diagram momen merata ekuivalen
C_c'	= Gaya pada tulangan tekan
C_s'	= Gaya tekan pada beton
d	= tinggi efektif balok maupun kolom
D	= Beban mati atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan beban mati
E_c	= Modulus elastisitas beton (MPa) $= 4700 \sqrt{f_c'} \text{ MPa}$
E_s	= modulus elastisitas baja $= 200.000 \text{ MPa}$

I_b	= Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok
I_p	= Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto pelat
I_k	= Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto kolom
f_c'	= Kuat tekan beton yang disyaratkan (MPa)
f_y	= Kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan non-prategang (MPa)
f_{vy}	= Kuat leleh tulangan torsi longitudinal (MPa)
f_{ys}	= Kuat leleh tulangan sengkang torsi (MPa)
f_s	= Faktor aman yang disarankan Reese dan O'Neil (1989)
h	= Tinggi total dari penampang
h_n	= Bentang bersih kolom
L_n	= Bentang bersih balok
M_u	= Momen terfaktor pada penampang (Nmm)
M_{nb}	= Kekuatan momen nominal persatuan jarak sepanjang suatu garis leleh
M_{nc}	= Kekuatan momen nominal untuk balok yang tak mempunyai tulangan tekan (Nmm)
M_n	= Kekuatan momen nominal jika batang dibebani lentur saja (Nmm)
M_{nl}	= Momen kapasitas balok penampang kiri (Nmm)
M_{nr}	= Momen kapasitas balok penampang kanan (Nmm)
M_{nt}	= Momen kapasitas balok penampang atas (Nmm)
M_{nx}	= Kekuatan momen nominal terhadap sumbu x
M_{ny}	= Kekuatan momen nominal terhadap sumbu y
M_1	= Momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada Komponen tekan; bernilai positif bila komponen struktur melengkung dengan kelengkungan tunggal, negatif bila struktur melengkung dengan kelengkungan ganda (Nmm)
M_2	= Momen ujung terfaktor yang lebih besar pada Komponen tekan; selalu bernilai positif (Nmm)
M_{1ns}	= Nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak

- menimbulkan goyangan kesamping yang berarti, dihitung dengan analisis konvensional (orde pertama). Bernilai positif bila komponen struktur melentur dalam kelengkungan tunggal, negatif bila melentur dalam kelengkungan ganda (Nmm)
- M_{2ns} = Nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan kesamping yang berarti, dihitung dengan analisis rangka elastis konvensional (Nmm).
- M_{1s} = Nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan kesamping yang berarti, dihitung dengan analisis konvensional (orde pertama). Bernilai positif bila komponen struktur melentur dalam kelengkungan tunggal, negatif bila melentur dalam kelengkungan ganda (Nmm)
- M_{2s} = Nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan kesamping yang berarti, dihitung dengan analisis rangka elastis konvensional (Nmm).
- n = Banyak tulangan yang dibutuhkan
- N_{spt} = Nilai hasil Test Penetrasi standart pada suatu lapisan tanah, gaya normal secara umum
- N_u = Beban aksial terfaktor
- P_{cp} = keliling luar penampang beton (mm)
- P_b = Kuat beban aksial nominal pada kondisi regangan seimbang (N)
- P_c = Beban kritis (N)
- P_{CP} = Keliling penampang beton (mm)
- P_h = Keliling dari garis as tulangan sengkang torsi
- P_n = Kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan (N)
- P_o = Kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas nol (N)

- P_u = Beban aksial terfaktor pada eksentrisitas yang diberikan (N)
 R = Faktor reduksi gempa, rasio anatar beban gempa maksimum akibat pengaruh Gempa rencana pada struktur gedung elastik penuh dan beban gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana pada struktur gedung daktail, bergantung pada faktor daktilitas struktur gedung tersebut, faktor reduksi gempa representatif struktu gdung tidak beraturan
 R_{sx} = Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan gempa X
 R_{sy} = Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan gempa Y
 S = Spasi tulangan geser atau torsi kearah yang diberikan (N)
 T = Waktu getar alami struktur gedung dinyatakan dalam detik yang menentukan besarnya faktor respons gempa struktur gedung dan kurvanya ditampilkan dalam spektrum respons gempa rencana
 t_i = Tebal lapisan tanah ke-i
 T_n = Kuat momen torsi nominal (Nmm)
 T_u = Momen torsi tefaktor pada penampang (Nmm)
 V_c = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton
 V_n = Pengaruh gempa rencana pada taraf pembebanan nominal untuk strukutr gedung dangan tingkatan daktilitas umum, pengaruh gempa rencana pada saat didalam struktur terjadi pelelehan pertama yang sudah direduksi dengan faktor kuat lebih beban dan bahan fl
 V_s = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser (N)
 V_u = Gaya geser terfaktor pada penampang (N)
 a = Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur dari pelat dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis panel yang bersebelahan pada tiap sisi balok
 a_m = Nilai rata-rata α untuk semua balok tepi dari suatu panel

- β = Rasio bentang dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah
 β_d = Rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap beban aksial terfaktor maksimum
 ρ = Rasio tulangan tarik
 ρ' = Rasio tulangan tekan
 ρ_b = Rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan yang seimbang
 ρ_{max} = Rasio tulangan tarik maksimum
 ρ_{min} = Rasio tulangan tarik minimum
 f = Faktor reduksi kekuatan
 ϵ = Regangan
 ϵ_c = Regangan dalam beton
 λ_d = Panjang penyaluran
 λ_{db} = Panjang penyaluran dasar
 λ_{dh} = Panjang penyaluran kait standar tarik diukur dari penampang kritis hingga ujung luar kait (bagian panjang penyaluran yang lurus antara penampang kritis dan titik awal kait (titik garis singgung) ditambah jari-jari dan satu diameter tulangan).
 λ_{hb} = Panjang penyaluran dasar dari kait standar tarik
 λ_n = Bentang bersih untuk momen positif atau geser dan rata-rata dari bentang-bentang bersih yang bersebelahan untuk momen negatif
 λ_u = Panjang bebas (tekuk) pada kolom
 d_{ns} = Faktor pembesaran momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan ke samping, untuk menggambarkan pengaruh kelengkungan komponen struktur diantara ujung-ujung komponen struktur tekan
 d_s = Faktor pembesaran momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan ke samping, untuk menggambarkan pengaruh penyimpangan lateral akibat beban lateral dan gravitasi
 μ = Faktor daktilitas struktur gedung, rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat

pengaruh gempa rencana pada saat mencapai kondisi diambang keruntuhan dan simpangan struktur gedung pada saat terjadi pelelehan pertama

- ψ = Faktor kekangan ujung – ujung kolom
- l_n = Panjang bentang bersih pada arah memanjang dari konstruksi dua arah, yang diukur dari muka kemuka tumpuan pada pelat tanpa balok
- f_y = Tegangan leleh
- β = Rasio bentang berih dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat
- a_m = Nilai rata – rata dari a untuk sebuah balok pada tepi dari semua panel
- a = Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur dari pelat dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis panel yang bersebelahan pada tiap sisi balok.
- Q_u = daya dukung ultimate (ton)
- Q_p = daya dukung ujung tiang
- Q_s = daya dukung selimut tiang
- N = nilai SPT pada ujung tiang
- N_{av} = rata-rata nilai SPT sepanjang tiang
- A_p = luas permukaan ujung tiang
- A_s = luas selimut tiang
- SF = *safety factor*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan Negara yang terletak pada pertemuan lempeng-lempeng yang menyebabkan Indonesia menjadi Negara rawan gempa. Gempa yang ditimbulkan memiliki kekuatan yang berbeda tergantung pada posisi pusat titik gempa, dimana semakin dekat gedung terhadap pusat gempa semakin besar gaya gempa yang diterima oleh gedung tersebut.

Dalam merencanakan struktur beton bertulang pada gedung yang dapat menahan gaya gempa dengan menggunakan komponen struktur rangka, terdapat 3 macam sistem, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Pemilihan sistem tersebut berdasarkan pada Kategori Desain Seismik (KDS). Terdapat 5 kategori desain seismik, yaitu kategori A sampai F. Untuk KDS A dan B, perencanaan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB). Untuk KDS C, perencanaan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM). Untuk KDS D, E, F, perencanaan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya merupakan gedung 7 lantai yang direncanakan agar mampu memikul beban gempa dengan probabilitas keruntuhan bangunan 10% dalam 50 tahun. Berdasarkan data tanah yang ada, gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya masuk pada kategori desain seismik C. Maka dari itu, perencanaan gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

Gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya terletak di daerah yang padat pemukiman. Sehingga pada saat pemasangan pondasi, tidak boleh menimbulkan getaran pada tanah. Getaran pada tanah bisa menimbulkan kerusakan pada bangunan-bangunan disebelahnya. Oleh karena itu, pemilihan dan pemasangan pondasi harus tepat sehingga tidak mengganggu bangunan-bangunan didekatnya.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana cara merencanakan struktur beton bertulang pada gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).
2. Bagaimana cara merencanakan pondasi gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya agar tidak menimbulkan pergerakan dan getaran pada tanah yang dapat mengakibatkan kerusakan pada bangunan didekatnya.
3. Bagaimana mengaplikasikan perhitungan struktur dalam bentuk gambar teknik.

1.3 Batasan Masalah

1. Perhitungan hanya dilakukan pada 2 portal yang telah ditentukan.
2. Analisis beban gempa dilakukan dengan metode analisa respon spectrum
3. Data tanah yang digunakan adalah data tanah daerah sumenep untuk mendapatkan jenis tanah keras.
4. Perencanaan gedung ini tidak memperhitungkan segi manajemen konstruksi dan anggaran biaya.

1.4 Tujuan

Tujuan dari pembuatan laporan tugas akhir terapan meliputi hasil sebagai berikut:

1. Mengetahui cara perhitungan struktur beton bertulang pada gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya dengan

metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

2. Mengetahui cara merencanakan pondasi gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya agar tidak menimbulkan pergerakan dan getaran pada tanah yang dapat mengakibatkan kerusakan pada bangunan didekatnya.
3. Menyajikan detail perhitungan struktur ke dalam gambar teknik

1.5 Manfaat

Manfaat dari pembuatan laporan tugas akhir terapan yaitu:

Untuk menerapkan perencanaan struktur beton bertulang pada gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam menyelesaikan perencanaan struktur beton bertulang harus dapat memenuhi kriteria kekuatan dan kelayakan yang dibutuhkan oleh sebuah gedung. Oleh karena itu, pada bab ini akan dijelaskan secara garis besar mengenai teori dan syarat-syarat perencanaan. Teori dan syarat-syarat perencanaan yang dijelaskan adalah mengenai Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

2.1 Umum

Dalam merancang sebuah bangunan struktur, ada banyak hal yang harus diperhatikan. Tidak hanya material pembentuk struktur apakah baja atau beton. Tetapi juga fungsi gedung yang akan dipakai, apakah untuk apartemen, perkantoran, sekolah, atau rumah sakit. Dalam merancang sebuah bangunan struktur, kita harus mengecek beberapa hal yang harus diperhatikan. Diantaranya yaitu dilatasi, pembebanan pada bangunan dan Sistem Rangka Pemikul momen yang digunakan.

2.2 Dilatasi

Dalam bentuk bangunan “L”, “H” atau “U”, rancangan denah gedung sebaiknya dibuat dengan rasio panjang-lebar kurang dari 1 banding 3. Jika ini tak memungkinkan karena adanya tuntutan design arsitektur, maka sebaiknya sayap gedung dijadikan bangunan terpisah secara struktural (dilatasi = pemisahan bangunan secara struktural). Dilatasi baik digunakan pada pertemuan antara bangunan yang rendah dengan yang tinggi, antara bangunan induk dengan bangunan sayap, dan bagian bangunan lain yang mempunyai kelemahan geometris. Disamping itu, bangunan yang sangat panjang tidak dapat menahan deformasi akibat penurunan fondasi dan

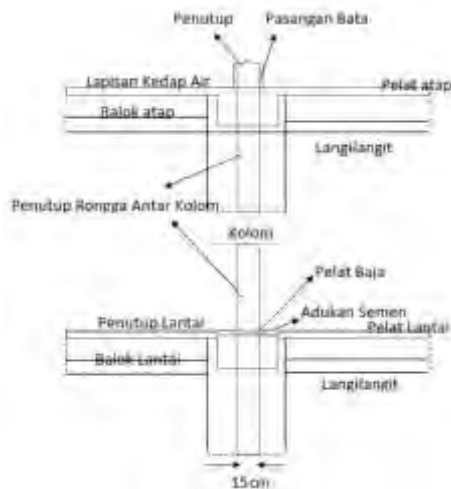
gempa, karena akumulasi gaya yang sangat besar pada dimensi bangunan yang panjang, dan menyebabkan timbulnya retakan atau keruntuhan struktural. Oleh karenanya, suatu bangunan yang besar perlu dibagi menjadi beberapa bangunan yang lebih kecil, dimana setiap bangunan dapat bereaksi secara kompak dan kaku dalam menghadapi pergerakan bangunan yang terjadi.

Di samping itu, bangunan yang sangat panjang tidak dapat menahan deformasi akibat penurunan fondasi, gempa, muai susut, karena akumulasi gaya yang sangat besar pada dimensi bangunan yang panjang, dan menyebabkan timbulnya retakan atau keruntuhan struktural. Oleh karenanya, suatu bangunan yang besar perlu dibagi menjadi beberapa bangunan yang lebih kecil, di mana tiap bangunan dapat bereaksi secara kompak dan kaku dalam menghadapi pergerakan bangunan yang terjadi

Jenis-jenis dilatasi sebagai berikut:

a. Dilatasi dengan Dua Kolom

Pemisahan struktur dengan dua kolom terpisah merupakan hal yang paling umum digunakan, terutama pada bangunan yang bentuknya memanjang (linear). Seperti pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2. 1 Dilatasi dengan dua kolom

b. Dilatasi dengan Balok Kantilever

Mengingat bentang balok kantilever terbatas panjangnya (maksimal $1/3$ bentang balok induk), maka pada lokasi dilatasi terjadi perubahan bentang antar kolom, yaitu sekitar $2/3$ bentang antar kolom. Seperti pada gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2. 2 Dilatasi dengan balok kantilever

2.3 Sistem Rangka Pemikul Momen

SRPM adalah singkatan dari Sistem Rangka Pemikul Momen, atau Moment Resisting Frame. Istilah ini sering kita dengar pada pembahasan mengenai struktur gedung tahan gempa. SRPM merupakan salah satu "pilihan" sewaktu merencanakan sebuah bangunan tahan gempa. Ciri-ciri SRPM antara lain: Beban lateral khususnya gempa, ditransfer melalui mekanisme lentur antara balok dan kolom. Jadi, peranan balok, kolom, dan sambungan balok kolom di sini sangat penting; Tidak menggunakan dinding geser. Walaupun ada dinding, dinding tersebut tidak didesain untuk menahan beban lateral; Tidak menggunakan bresing (bracing). Untuk struktur baja, penggunaan bresing kadang sangat diperlukan terutama pada arah sumbu lemah kolom. Dalam hal ini, bangunan tersebut dapat dianalisis sebagai SRPM pada arah sumbu kuat kolom, dan sistem bresing pada arah lainnya. SRPM dibagi menjadi tiga tingkatan, yaitu:

- a. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), untuk daerah yang berada di wilayah gempa dengan kategori disain seismik (KDS) A dan B.
- b. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), untuk daerah yang berada di wilayah gempa dengan kategori disain seismik (KDS) A, B dan C.
- c. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), untuk daerah yang berada di wilayah gempa dengan kategori disain seismik (KDS) A, B, C, D, E, dan F.

Prinsip dari system rangka pemikul momen menengah (SRPMM) yaitu

- a. Keruntuhan geser tidak boleh terjadi sebelum keruntuhan lentur
 - Keruntuhan geser bersifat mendadak (tidak memberi kesempatan penghuni untuk menyelamatkan diri) → harus dihindari

- Penulangan geser pada balok dan kolom dihitung berdasar kapasitas tulangan lentur terpasang (bukan dari hasil analisis struktur)
- Balok dipaksa runtuh akibat lentur terlebih dahulu dengan membuat kuat geser melebihi kuat lentur
- b. Strong column weak beam (Kolom kuat balok lemah)
 - Kerusakan dipaksakan terjadi pada balok
 - Hubungan balok kolom harus didesai sesuai persyaratan gempa

2.4 Pembebanan dan Kombinasi Beban pada Struktur

Rangka Pemikul Momen

Beban-beban yang dimasukkan pada perencanaan struktur gedung antara lain:

- a) Beban mati
Beban mati yang dimaksud adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan yang merupakan bagian yang tak terpisahkan.
- b) Beban hidup
Beban hidup yang dimaksud adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu.
- c) Beban Angin
Beban angin yang dimaksud adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.

d) Beban Gempa

Beban gempa yang dimaksud adalah beban yang ditimbulkan akibat adanya gempa yang sewaktu-waktu datang. Beban gempa yang dimasukkan adalah beban gempa dinamis.

- Gempa rencana

Tata cara ini menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen. (2500 tahun).

- Perhitungan Gempa

1. Faktor Keutamaan

Gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya termasuk dalam kategori gedung sekolah dan fasilitas pendidikan sehingga berdasarkan tabel 2.1 berikut, sesuai SNI 03-1726-2012 termasuk kategori resiko IV dan berdasarkan tabel 2.2 didapatkan faktor keutamaan (I_e) = 1,5

Tabel 2. 1 Kategori Risiko Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: Bangunan - bangunan monumental Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan	IV

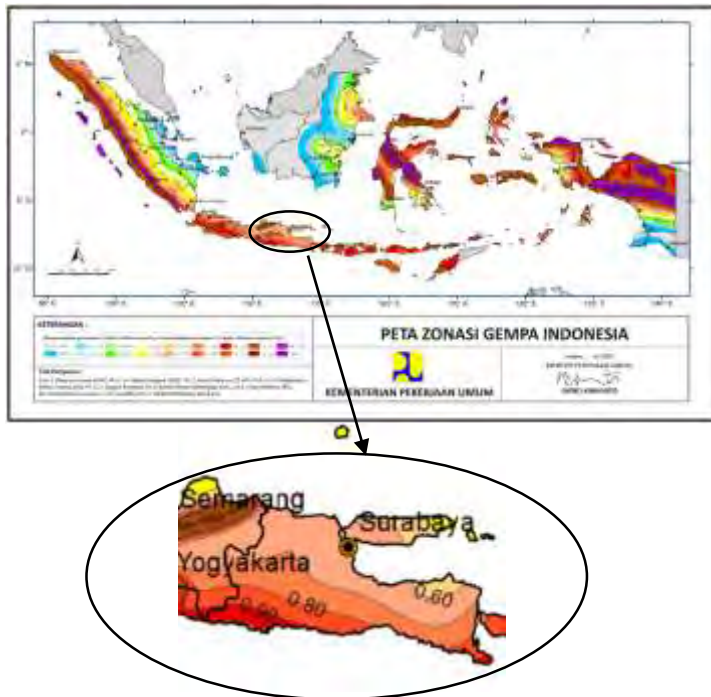
Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan lainnya Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat	
--	--

Tabel 2. 2 Faktor Keutamaan Gempa

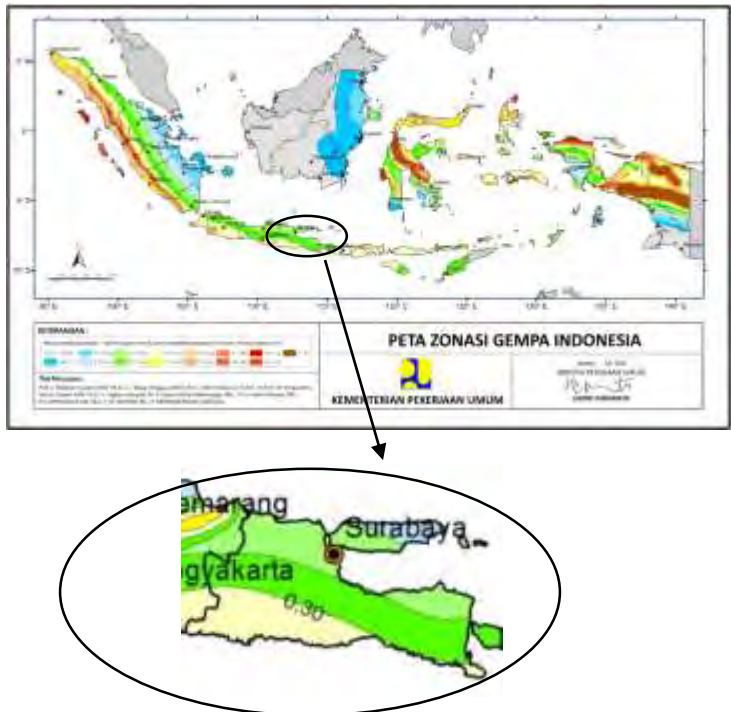
Kategori Risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1
III	1,25
IV	1,5

2. Parameter Percepatan Tanah

Parameter S_1 (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_s (percepatan batuandasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spectral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun, dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Sesuai pada gambar 2.3 dan gambar 2.4 di bawah ini, nilai $S_s=0,4$ dan $S_1=0,15$ mengacu pada peta hazard Indonesia 2010.



Gambar 2. 3 Peta Respon Spektra percepatan 0.2 detik (S_s) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun.



Gambar 2. 4 Peta Respon Spektra percepatan 1 detik untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun.

3. Klasifikasi Situs

Klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu sehingga profil tanah dapat di ketahui berdasarkan data tanah pada bangunan, pada tabel 2.3 sesuai SNI 1726-2012 dibawah ini akan di jelaskan beberapa macam kelas situs yang harus ditinjau. Untuk perhitungan beban gempa digunakan data tanah SPT kemudian dilakukan

perhitungan nilai SPT rata – rata (N-SPT) sesuai SNI 03-1726-2012

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n \frac{di}{\bar{N}_i}}$$

Tabel 2. 3 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (Tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (Tanah Lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: Indeks plastisitas, $PI > 20$, Kadar air, $w \geq 40\%$ Kuat geser niralinir $\bar{S}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan	- Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu		

investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon spesifik – situs yang mengikuti 6.10.1)	<p>atau lebih dari karakteristik berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa
--	---

4. Faktor Koefisien Situs dan Parameter Respon

$$S_{ms} = F_a \cdot S_s$$

$$S_{m1} = F_v \cdot S_{d1}$$

Tabel 2. 4 Koefisien situs (F_a)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, 5				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s=0,5$	$S_s=0,75$	$S_s=1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	1	1	1	1	1
SC	1.2	1.2	1.1	1	1
SD	1.6	1.4	1.2	1.1	1

SE	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
SF	Ss ^b				

Tabel 2. 5 Koefisien situs (Fv)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada perioda pendek, T=0,2 detik, 5				
	Ss ≤0,25	Ss=0,5	Ss=0,75	Ss=1,0	Ss≥1,25
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	1	1	1	1	1
SC	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
SD	2.4	2	1.8	1.6	1.5
SE	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
SF	Ss ^b				

5. Parameter Percepatan Desain

$$Sds = \frac{2}{3} Sms$$

$$Sd1 = \frac{2}{3} Sm1$$

6. Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik berdasarkan tabel 2.6 sesuai SNI 1726-2012 pasal 6.5 dibawah ini, digunakan untuk menentukan jenis rangka pemikul momen yang digunakan.

Tabel 2. 6 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

Nilai Sds	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
Sds < 0.167	A	A

$0.167 \leq Sds < 0.33$	B	C
$0.33 \leq Sds < 0.5$	C	D
$0.5 \leq Sds$	D	D

7. Ketidakberaturan Struktur

Struktur bangunan gedung harus diklasifikasikan sebagai beraturan atau tidak beraturan. Klasifikasi tersebut harus didasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur bangunan gedung. Dalam penyusunan tugas akhir ini bangunan termasuk dalam ketidakberaturan struktur horizontal berdasarkan tabel 2.7 dan gambar 2.5 dibawah ini sesuai SNI 1726-2012.

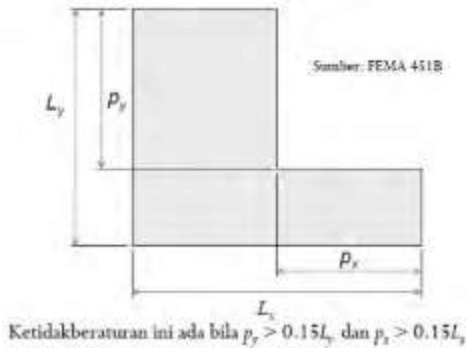
Tabel 2. 7 Ketidakberaturan Struktur Horizontal

No	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan lkategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel13 12.2.2	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

	referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.		
1b.	Ketidakteraturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 13 12.2.2	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	Ketidakteraturan Sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan	7.3.3.4 Tabel 13.5.6-1	D, E, dan F D, E, dan F

Ketidakberaturan Struktur Horizontal

2) Ketidakberaturan Sudut Dalam



Gambar 2. 5 Ketidak Beraturan Sudut Dalam

8. Kemudian menentukan besar periode (T) pada suatu bangunan sesuai SNI 03-1726-2012

$$T = C_t \times h_n^x$$

h_n = tinggi bangunan

C_t = 0.0466

x = 0.9

9. Respon Spektrum Desain

Respon Spektrum Desain adalah grafik yang menunjukkan nilai besaran respon struktur dengan periode (waktu getar) tertentu. Perhitungan respon spektrum digunakan untuk bangunan gedung tidak beraturan terhadap pembebanan gempa nominal, dapat dilakukan dengan metoda analisis ragam spektrum dengan memakai spektrum respon desain yang mengacu pada gambar 2.8 sesuai SNI 1726-2012 dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

- Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain (S_a), harus diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{ds} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right)$$

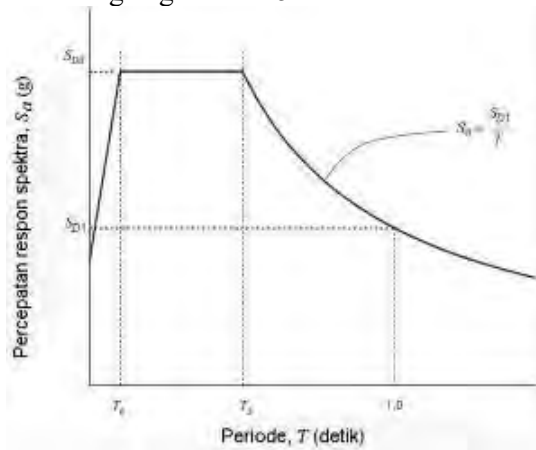
- Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain (S_a), sama dengan S_{ds} ; untuk perioda lebih besar dari T_s , spectrum respons percepatan desain S_a . Diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{d1}}{T}$$

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{d1}}{S_{ds}}$$

$$T_s = \frac{S_{d1}}{S_{ds}}$$

- Berikut adalah grafik respon spektrum sesuai dengan gambar 2.5



Gambar 2. 6 Spektrum Respon Desain

2.5 Syarat-syarat dan perumusan pada Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Sistem rangka pemikul momen menengah digunakan untuk perencanaan komponen struktur rangka yang masuk pada kategori desain seismik C. Komponen struktur rangka pada gedung terdiri dari struktur atas dan struktur bawah. Struktur bawah meliputi pondasi, poer, dan sloof. Sedangkan untuk struktur atas terbagi menjadi struktur utama dan struktur sekunder. Struktur utama terdiri dari balok dan kolom. Sedangkan struktur sekunder terdiri dari pelat lantai, tangga, dan balok anak. Untuk struktur utama yang memikul beban gempa, E, penulangan harus didesain sesuai dengan persyaratan pada sistem rangka momen menengah. Berikut ini adalah syarat-syarat dan perumusan untuk mendesain struktur beton bertulang pada komponen struktur rangka pemikul momen.

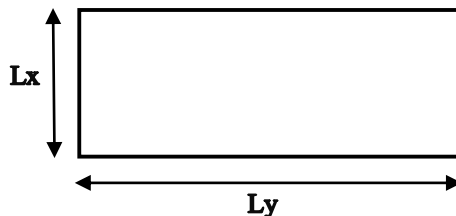
2.6 Perencanaan Struktur Atas

2.6.1 Perencanaan Pelat

Pelat merupakan elemen struktur menerima beban mati dan beban hidup secara langsung. Pelat dibedakan menjadi 2, yaitu pelat satu arah dan dua arah. Ada dua hal yang harus diperhatikan dalam perencanaan pelat, yaitu merencanakan tebal pelat dan merencanakan penulangan pelat.

2.6.1.1 Perencanaan tebal pelat

- Pelat satu arah



Gambar 2. 7 Dimensi Bidang Pelat

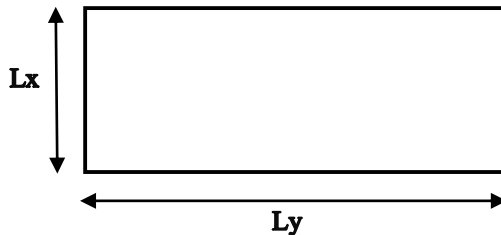
- Suatu pelat dinamakan pelat satu arah apabila $\frac{\text{bentang panjang}}{\text{bentang pendek}} > 2$,
- Pelat satu arah atau disebut konstruksi satu arah non-prategang diatur pada SNI 2847-2013 pasal 9.5.2
- Penentuan tebal minimum untuk pelat satu arah dengan lendutan tidak dihitung telah diatur pada SNI 2847-2013 tabel 9.5(a)

Tabel 2. 8 Tebal minimum balok non-prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung

Komponen struktur	Tebal minimum, h			
	Dua tumpuan sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	kantilever
	Komponen yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat massif satu arah	1/20	1/24	1/28	1/10
Balok atau pelat rusuk satu arah	1/16	1/18.5	1/21	1/8
<p><u>Catatan :</u> Panjang bentang dalam mm Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasi sebagai berikut : (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (<i>equilibrium density</i>), w_c , diantara 1440 kg/m³ sampai 1840 kg/m³ , nilai tadi harus dikalikan dengan (1.65-0.0003Wc) tetapi tidak kurang dari 1.09</p>				

(b) Untuk f_y selain 400 Mpa, nilainya harus dikalikan dengan $(0.4 + f_y/700)$.

- Bila lendutan harus dihitung maka lendutan yang terjadi seketika sesudah bekerjanya beban harus dihitung dengan metoda atau formula standar untuk lendutan elastis, dengan memperhitungkan pengaruh retak dan tulangan terhadap kekakuan komponen struktur. Sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 9.5.2.2
- Pelat dua arah



Gambar 2. 8 Dimensi Bidang Pelat

- Suatu pelat dinamakan pelat dua arah apabila $\frac{\text{bentang panjang}}{\text{bentang pendek}} < 2$
- Pelat dua arah atau konstruksi dua arah non-prategang diatur pada SNI 2847-2013 pasal 9.5.3
- Tebal minimum tanpa balok interior yang membentang diantara tumpuan semua sisinya harus memenuhi ketentuan pada pasal 9.5(c) tetapi tidak boleh kurang dari :
 - a) Tanpa panel drop yaitu 125 mm (SNI 2847-2013 pasal 13.2.5)
 - b) Dengan panel drop yaitu 100 mm (SNI 2847-2013 pasal 13.2.5)

Tabel 2. 9 Tebal minimum balok non-prategang atau pelat satu arah
bilalendutan tidak dihitung

Tegangan leleh, f_y MPa	Tanpa penebalan			Dengan penebalan		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir	
280	Ln/33	Ln/36	Ln/36	Ln/36	Ln/40	Ln/40
420	Ln/30	Ln/33	Ln/33	Ln/33	Ln/36	Ln/36
520	Ln/33	Ln/28	Ln/31	Ln/31	Ln/34	Ln/34
<p>Untuk konstruksi dua arah, ln adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain. Untuk f_y antara nilai yang diberikan dalam table, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.</p> <p>*panel drop didefinisikan dalam 13.2.5</p> <p>*pelat dengan balok diantara kolom kolomnya disepanjang tepi eksterior.</p> <p>Nilai untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0.8</p>						

- Tebal pelat minimum dengan balok yang membentang diantara tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi ketentuan pada SNI 2847 2013 pasal 9.5.3.3 atau 9.5.3.4 sebagai berikut :

- a. Untuk $\alpha_{fm} \leq 0.2$ harus menggunakan 9.5.3.2 atau sesuai dengan yang diatur dalam tabel 9.5(c)
- b. Untuk $\alpha_{fm} \geq 0.2 \leq 2$, ketebalan pelat minimum harus tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ln \left(0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0.2)}$$

Dan juga tidak boleh kurang dari 125 mm

- c. Untuk $\alpha_m > 2$, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari

$$h = \frac{\ln \left(0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta}$$

Dan tidak boleh kurang dari 90 mm

- d. Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan α_f tidak kurang dari 0.8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan persamaan 9.12 dan 9.13 harus dinaikkan paling tidak 10% pada panel dengan tepi yang tidak menerus sesuai SNI 2847-2013
- Pelat dengan tebal kurang dari tebal minimum yang ditetapkan, boleh dipergunakan bila dapat ditunjukkan dengan perhitungan bahwa lendutan yang terjadi tidak melebihi batas lendutan pada tabel 9.5(c) SNI 2847-2013

2.6.1.2 Penulangan pelat

- Perencanaan penulangan pelat dimulai dengan merencanakan mutu beton pelat, tegangan leleh baja tulangan dan tebal pelat
- Perhitungan pembebanan pelat dideskripsikan berupa beban mati dan beban hidup yang membebani pelat
- Penentuan kategori pembagian jenis pelat termasuk kategori pelat satu arah atau pelat dua arah berdasarkan bentang panjang dan bentang pendek
- Perhitungan momen-momen pada pelat, momen tersebut harus diasumsikan berporos terhadap sumbu tegak lurus terhadap diagonal dari sudut pada sisi atas pelat dan berporos terhadap sumbu yang parallel terhadap diagonal pada sisi bawah pelat (SNI 2847-2013 pasal 13.3.6.2)
- Periksa rasio penulangan pelat sesuai dengan $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$ untuk mengetahui luasan tulangan pelat yang diperlukan.

- Luas tulangan pelat dalam masing-masing arah untuk pelat dua arah ditentukan berdasarkan momen-momen pada penampang kritis, tetapi paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton tidak boleh kurang dari 0.0014
- Spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dua kali tebal pelat (SNI 2847-2013 pasal 13.3.2)
- Periksa tulangan susut dan suhu
 - Tulangan untuk tegangan susut dan suhu tegak lurus terhadap tulangan lentur harus disediakan dalam pelat structural dimana tulangan lentur menerus dalam satu arah saja (SNI 2847-2013 pasal 7.12.1)
 - Luasan tulangan susut dan suhu harus menyediakan paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton sebagai berikut, tetapi tidak kurang dari 0.0014 (SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.1)
 - a) Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir mutu 280 atau 350 adalah 0.0020
 - b) Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las mutu 420 adalah 0.0018
 - c) Pelat yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 420 MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 35% adalah $\frac{0.0018 \times 420}{f_y}$
 - Tulangan susut dan suhu harus dipasang dengan spasi tidak lebih jauh dari lima kali tebal pelat atau tidak lebih dari 450 mm (SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.2)
- Panjang penyaluran pelat tanpa balok harus mempunyai perpanjangan minimum sebagai berikut sesuai dengan SNI 2847-2013 gambar 13.3.8

LAJUR	LOKASI	A. MINIMUM PADA PENAMPANG	TANPA PANEL TURUN	DENGAN PANEL TURUN
LAJUR KOLOM	ATAS	SISA 50%		
	BAWAH	100%		
LAJUR TENGAH	ATAS	100%		
	BAWAH	SISA 50%		

Gambar 2. 9 Perpanjangan minimum untuk tulangan kedalam tumpuan

- Penyaluran tulangan momen positif (SNI 2847-2013 pasal 12.11.1)
Paling sedikit sepertiga tulangan momen positif pada komponen struktur sedrhana dan seperempat tulangan momen positif pada komponen struktur menerus harus diteruskan sepanjang muka komponen struktur yang sama ke dalam tumpuan.
- Tulangan momen positif yang tegak lurus terhadap tepi tak menerus harus memenuhi ke tepi pelat dan mempunyai penanaman, lurus atau kait, paling sedikit 150 mm dalam balok, kolom atau dinding. (SNI 2847-2013 pasal 13.3.3)
- Penyaluran tulangan momen negatif (SNI 2847-2013 pasal 12.12.3)

Paling sedikit sepertiga tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif pada tumpuan harus mempunyai panjang penanaman melewati titik balok tidak kurang dari:

- a) D
- b) $12d_b$
- c) $l_n/16$

Pilih nilai yang paling besar

- Tulangan momen positif yang tegak lurus terhadap tepi tak menerus harus dibengkokkan, dikait, atau jikalau tidak diangkur dalam balok, kolom atau dinding dan harus disalurkan ke muka tumpuan (SNI 2847-2013 pasal 13.3.4)

2.6.2 Perencanaan Tangga

2.6.2.1 Perencanaan Dimensi Tangga

Merencanakan dimensi anak tangga dan bordes. Merencanakan dimensi injakan dan tanjakan dengan persyaratan :

$$0,6 \leq (2t + i) \leq 0,65 \text{ (meter)}$$

Dimana,

$$t = \text{tanjakan} \leq 25 \text{ cm}$$

$$i = \text{injakan dengan } 25 \text{ cm} \leq I \leq 40 \text{ cm}$$

maksimal sudut tangga adalah 40°

2.6.2.2 Pembebanan Tangga

Berdasarkan PPIUG 1983 pasal 1.0.1 pembebanan pada tangga sebagai berikut:

- Beban Mati
 - Berat sendiri
 - Spesi
 - Berat railing

- Keramik
- Berdasarkan PPIUG 1983 pasal 1.0.2 Beban Hidup pada tangga adalah 300 kg/m²

2.6.2.3 Penulangan Tangga

Penulangan pada pelat anak tangga dan pelat bordes menggunakan program SAP 2000 untuk mencari momen bekerja pada frame. Prosedur perhitungan tangga dan bordes mengikuti perhitungan pelat.

2.6.3 Perencanaan Balok

Berdasarkan syarat-syarat dari rangka momen menengah, perhitungan tulangan balok portal yang mempunyai gaya tekan aksial terfaktor, P_u , kurang dari $A_g f_c' / 10$, harus memenuhi ketentuan berikut ini:

- Kekuatan momen positif pada muka joint $\geq 1/3$ kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint
- Kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang $\geq 1/5$ kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint
- Pada kedua ujung balok, sengkang harus disediakan dengan panjang $\geq 2h$ diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang. Sengkang pertama ditempatkan ≤ 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tidak boleh melebihi:
 - a. $d/4$
 - b. 8 x diameter tulangan longitudinal terkecil
 - c. 24 x diameter tulangan sengkang
 - d. 300 mm
- Spasi sengkang $\leq d/2$ sepanjang panjang balok.

2.6.3.1 Perencanaan Dimensi Balok

Perencanaan dimensi balok ini digunakan untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan-tulangan mutu 420 MPa. Untuk merencanakan tebal minimum balok, h , pada balok induk nilai h dapat diambil sebesar $L/12$. Sedangkan pada balok anak, nilai h dapat diambil sebesar $L/21$. Untuk balok kantilever, nilai h dapat diambil sebesar $L/8$. Untuk f_y selain 420 MPa, nilai h harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$. Untuk merencanakan lebar balok, b , dapat diambil $2/3$ dari tebal minimum balok.

2.6.3.2 Syarat Pelindung Beton

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1

Tabel 2. 10 Syarat Pelindung Beton

Keterangan	Tebal selimut minimum
Beton yang dicor diatas dan selalu berhubungan dengan tanah	75
Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca : Batang D-19 hingga D-57 Batang D-16, kawat M-16 ulir atau polos, dan yang lebih kecil	50 40
Beton yang tidak berhubungan dengan cuaca atau berhubungan dengan tanah : <u>Pelat, dinding, balok usuk :</u> Batang D-44 dan D-57 Batang D-36 dan yang lebih kecil <u>Balok, kolom :</u> Tulangan utama, pengikat, sengkang, spiral	40 20 40 20 13

<u>Komponen struktur cangkang, pelat lipat :</u> Batang D-19 dan yang lebih besar Batang D-16, kawat M-16 ulir atau polos dan yang lebih kecil	
--	--

2.6.3.3 Perencanaan Tulangan Lentur Balok

Perencanaan penulangan lentur balok pada tugas akhir ini menggunakan desain tulangan rangkap. Di dalam perencanaan tulangan rangkap ini prinsipnya penampang beton yang tertekan dibuat sekecil mungkin dengan meletakkan posisi garis netral, X , lebih mendekati tulangan tekan dengan tetap memperhatikan komposisi tulangan tarik, A_s , dan tulangan tekan, A_s' . Adapun langkah-langkah untuk menentukan nilai X dengan cara coba-coba sampai tulangan tarik tidak mampu memikul momen akibat beban luar sehingga harus membutuhkan tulangan tekan berikut ini adalah langkah-langkah untuk desain tulangan rangkap:

- 1) Ambil suatu harga $X \leq X_b$

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} d$$

- 2) Ambil A_{sc} berdasarkan X rencana

$$A_{sc} = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot X}{f_y}$$

- 3) Hitung M_{nc}

$$M_{nc} = A_{sc} \cdot f_y \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X}{2} \right)$$

- 4) Periksa keperluan tulangan tekan

Apabila: $M_n - M_{nc} > 0$, maka perlu tulangan tekan
 $M_n - M_{nc} < 0$, maka tidak perlu tulangan tekan

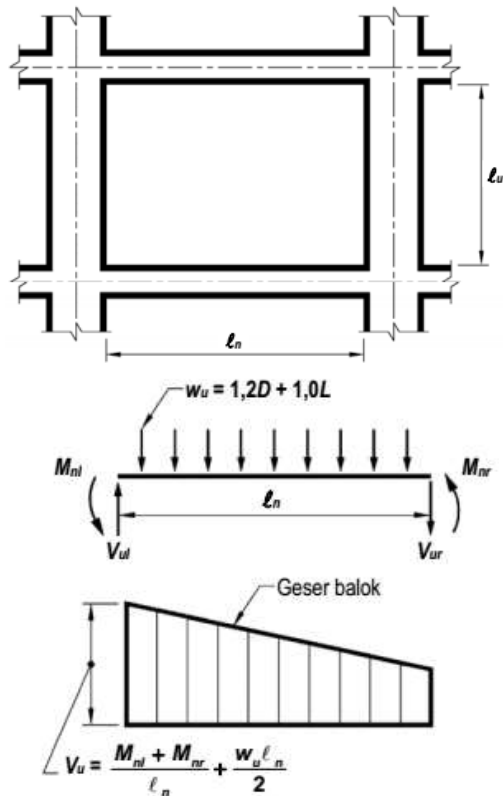
- 5) Bila perlu tulangan tekan, maka hitung $C_s' = T_2$

- $$C'_s = T_2 = \frac{M_n - M_{nc}}{(d - d'')}$$
- 6) Kontrol tulangan tekan leleh
 $f_s' = \left(1 - \frac{d''}{x}\right) 600 \geq f_y$, maka tulangan leleh,
 $f_s' = f_y$
 $f_s' = \left(1 - \frac{d''}{x}\right) 600 \geq f_y$, maka tulangan tidak
 leleh, $f_s' = f_y$
- 7) Hitung tulangan tekan perlu dan tulangan tarik
 tambahan
 $A'_s = \frac{C_s'}{(f_s' - 0,85f_c')}$
 $A_{ss} = \frac{T_2}{f_y}$
- 8) Tulangan perlu
 $A_s = A_{sc} + A_{ss}$
 $A_s' = A_s'$
- 9) Kontrol kekuatan
 $\phi Mn \geq Mu$

2.6.3.4 Perencanaan Tulangan Geser Balok

Berdasarkan ketentuan dari rangka pemikul momen menengah, nilai ϕV_n yang menahan gaya gempa, E , tidak boleh kurang dari nilai yang lebih kecil dari (a) dan (b):

- (a) Geser maksimum yang terkait dengan perkembangan M_n balok pada setiap ujung bentang bersih yang terkekang akibat lentur kurvatur balik dan geser yang dihitung untuk beban gravitasi terfaktor



Gambar 2. 10 Gaya Lintang rencana pada balok SRPMM

- (b) Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban yang melibatkan gaya gempa, E dengan E diasumsikan sebesar dua kali.

Kekuatan geser nominal beton, V_n , merupakan kombinasi dari kuat geser yang dipikul oleh beton, V_c , dan kuat geser yang dipikul oleh baja tulangan, V_s , atau dalam persamaan dapat dituliskan:

$$V_n = V_c + V_s$$

Besarnya V_c untuk komponen struktur yang dikenai geser dan lentur menurut SNI 2847-2013 pasal 12.2.1.1 adalah:

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f_c'}b_wd$$

Dan besarnya V_s minimum yang harus dimiliki oleh tulangan geser adalah:

$$V_{s(min)} = \frac{1}{3}b_wd$$

Dalam merencanakan tulangan geser, pada dasarnya dibagi atas beberapa kondisi sebagai berikut:

- kondisi 1) $V_u \leq 0,5\phi V_c$
- kondisi 2) $0,5\phi V_c < V_u \leq \phi V_c$
- kondisi 3) $\phi V_c < V_u \leq \phi(V_c + V_{s(min)})$
- kondisi 4) $\phi(V_c + V_{s(min)}) < V_u \leq \phi(V_c + 0,33\sqrt{f_c'}b_wd)$
- kondisi 5) $\phi(V_c + 0,33\sqrt{f_c'}b_wd) < V_u \leq \phi(V_c + 0,66\sqrt{f_c'}b_wd)$

Perencanaan geser minimum digunakan apabila gaya geser terfaktor, V_u , masuk pada kondisi 2 dan kondisi 3. Apabila gaya geser terfaktor masuk pada kondisi 4 dan kondisi 5, maka diperlukan tulangan geser. Apabila gaya geser terfaktor masuk pada kondisi 1, tulangan geser harus tetap diberikan mengingat perencanaan menggunakan sistem rangka pemikul momen menengah. Pada perencanaan tulangan geser minimum, luas tulangan geser, A_v , tidak boleh kurang dari $(0,35b_wS)/f_{yt}$, dan $V_s = V_{s(min)}$. Spasi yang digunakan tidak boleh lebih dari $d/2$ pada komponen struktur non-prategang, atau 600

mm. sedangkan untuk perencanaan geser yang masuk pada kondisi 4, luas tulangan geser adalah:

$$A_V = \frac{V_s s}{f_{yt} d}, \text{ dengan } \phi V_{s, \text{perlu}} = V_u - \phi V_c, \text{ dan}$$

$$s_{maks} \leq \frac{d}{2} \leq 600mm$$

Perencanaan yang masuk pada kondisi 5, luas tulangan geser sama seperti kondisi 4. Tetapi spasi yang diberikan harus dikurangi setengahnya, atau dalam persamaan dapat ditulis:

$$s_{maks} \leq \frac{d}{2} \leq 300mm$$

2.6.3.5 Perencanaan Tulangan Torsi Balok

Balok yang memiliki puntir diakibatkan oleh tidak seimbangnya beban pada balok pendukung pelat. Pengaruh torsi boleh diabaikan bila momen torsi terfaktor, T_u kurang dari:

$$0,083 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right) \text{ untuk struktur non-prategang}$$

Untuk memikul geser oleh lentur dan puntir, dimensi penampang harus direncanakan sedemikian agar dapat dipenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d} \right)^2 + \left(\frac{T_u p_h}{1,7 A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f'_c} \right) \quad \text{untuk penampang solid}$$

Untuk mendesain tulangan torsi, harus memenuhi:

$$\phi T_n \geq T_u$$

Pilih sengkang tertutup torsi perlu untuk digunakan sebagai tulangan transversal

$$T_n = \frac{2 A_0 A_t f_{yt}}{s} \cot \theta$$

Dengan A_0 boleh diambil sama dengan $0,85 A_{oh}$ dan θ bisa diambil sama dengan 45° untuk komponen struktur non-prategang atau komponen struktur prategang kurang dari 40 persen kekuatan tarik tulangan

longitudinal. Luas tulangan longitudinal tambahan untuk menahan torsi, A_t , diambil sebesar:

$$A_t = \frac{A_t}{s} p_h \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta$$

2.6.3.5 Panjang Penyaluran Tulangan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013, Tabel 12. Panjang penyaluran (l_d), dinyatakan dalam diameter db . Nilai l_d tidak boleh kurang dari 300 mm. Untuk batang ulir atau kawat ulir, nilai l_d/db harus diambil sebagai berikut:

Tabel 2. 11 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir

	Batang tulangan atayu kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil	Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari db , selimut bersih tidak kurang dari db , dan sengkang atau pengikat sepanjang l_d tidak kurang dari minimum tata cara atau spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2db$ dan	$\left[\frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e}{2,1 \cdot \lambda \sqrt{f_c'}} \right] db$	$\left[\frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e}{1,7 \cdot \lambda \sqrt{f_c'}} \right] db$

selimut nersih tidak kurang dari db		
Kasus-kasus lain	$\left[\frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e}{1,4 \cdot \lambda \sqrt{f'c}} \right] db$	$\left[\frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e}{1,1 \cdot \lambda \sqrt{f'c}} \right] db$

- Panjang penyaluran tulangan balok berdasarkan SNI 2847-2013
- Penyaluran tulangan momen positif sesuai Pasal 12.11 Paling sedikit sepertiga tulangan momen positif pada komponen struktur sederhana, dan seperempat tulangan momen positif pada komponen struktur menerus harus diteruskan sepanjang muka komponen struktur yang sama ke dalam tumpuan. Pada balok, tulangan tersebut harus diteruskan ke dalam tumpuan paling sedikit 150 mm.
- Penyaluran tulangan momen negative sesuai Pasal 12.12 Paling sedikit sepertiga tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negative pada tumpuan harus mempunyai panjang penanaman melewati titik belok tidak kurang dari:
 - a) D
 - b) 12 db
 - c) $L_n / 16$
 Ambil nilai yang terbesar.

2.6.4 Perencanaan Kolom

Berdasarkan syarat-syarat dari rangka momen menengah, perhitungan tulangan kolom yang mempunyai gaya tekan aksial terfaktor, P_u , lebih dari $A_g \cdot f_c' / 10$, harus memenuhi ketentuan berikut ini:

- Pada kedua ujung kolom, sengkang harus disediakan spasi s_o dengan panjang l_o diukur dari muka joint. Spasi s_o tidak boleh melebihi yang terkecil dari ketentuan berikut ini:

- (a) 8 x diameter batang tulangan longitudinal terkecil
- (b) 24 x diameter batang tulangan begel
- (c) 1/2 x dimensi penampang kolom terkecil
- (d) 300 mm
- Panjang l_o tidak boleh kurang dari yang terbesar dari ketentuan berikut ini:
 - (a) 1/6 bentang bersih kolom
 - (b) Dimensi penampang maksimum kolom
 - (c) 450 mm
- Sengkok tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari $s_o/2$ dari muka joint
- Di luar panjang l_o , spasi tulangan tidak boleh kurang dari $d/2$ untuk komponen struktur non-prategang, atau 600 mm

2.6.4.1 Perencanaan Dimensi Kolom

Dimensi kolom direncanakan lebar kolom, b , sama dengan tinggi kolom, h , sehingga dimensi dapat dicari menggunakan persamaan:

$$\frac{I_{kolom}}{L_{kolom}} \geq \frac{I_{balok}}{L_{balok}} \quad 5$$

Dengan L adalah bentang bersih, dan I adalah momen inersia sebesar $1/12 b h^2$.

2.6.4.2 Perencanaan Lentur dan Aksial Kolom

1) Kekakuan (EI)

Nilai EI bisa diambil dari nilai yang lebih kecil dari:

$$EI = \frac{0,2E_c I_g + E_s I_{se}}{1 + \beta_d}$$

Atau

$$EI = \frac{0,4E_c I_g}{1 + \beta_d}$$

2) Faktor kekangan ujung

Faktor kekangan ujung dalam hal ini didefinisikan sebagai ratio antara sigma kekakuan dibagi panjang

kolom-kolom dengan ratio antara sigma kekakuan dibagi panjang balok-balok pada joint yang ditinjau. Persamaan dapat ditulis:

$$\psi = \frac{\sum \left(\frac{EI}{L}\right)_{kolom-kolom}}{\sum \left(\frac{EI}{L}\right)_{balok-balok}}$$

Setelah mendapatkan nilai faktor kekangan pada kedua ujung kolom, dapat dicari nilai faktor panjang efektif, k , pada nomogram (SNI 03-2847-2013 gambar S10.10.1.1)

3) Kontrol kelangsingan

Kolom yang dibebani gaya aksial dan lentur harus ditinjau terhadap bahaya tekuk sehingga harus dikontrol kelangsingannya. Sebelum diperiksa kelangsingannya, definisikan apakah kolom tergolong kolom dengan pengaku atau tanpa pengaku. Untuk kolom dengan pengaku, dikatakan langsing apabila:

$$\frac{kl_u}{r} \geq 34 - 12 \frac{M_1}{M_2}$$

Sedangkan untuk kolom tanpa pengaku, kolom dikatakan langsing apabila:

$$\frac{kl_u}{r} \geq 22$$

dimana $r = \sqrt{I/A}$

4) Faktor pembesaran momen

Faktor pembesaran momen dibedakan menjadi kolom tak bergoyang dan bergoyang. Untuk kolom tak bergoyang, faktor pembesaran momen, M_c , besarnya adalah:

$$M_c = \delta_{ns} M_2$$

Sedangkan untuk kolom bergoyang, momen M_1 dan M_2 di ujung komonen struktur individu harus diambil sebesar:

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$$

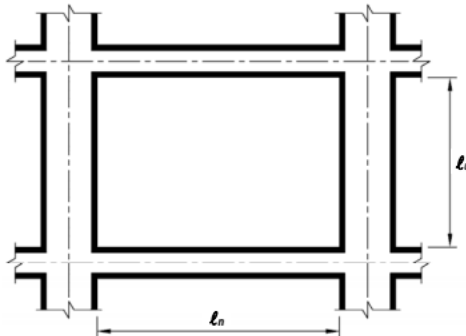
$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$$

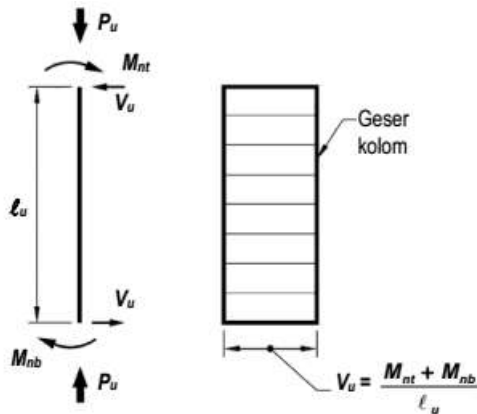
Setelah menghitung pembesaran momen, cari nilai ρ pada diagram interaksi atau bisa dengan program PCACol. Sehingga didapatkan luas tulangan kolom.

2.6.4.3 Perencanaan Tulangan Geser Kolom

Berdasarkan ketentuan dari rangka pemikul momen menengah, nilai ϕV_n yang menahan gaya gempa, E , tidak boleh kurang dari nilai yang lebih kecil dari (a) dan (b):

- (a) Geser yang terkait dengan pengembangan kekuatan momen nominal kolom pada setiap ujung terkekang dari panjang yang tak tertumpu akibat lentur kurvatur balik. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur tertinggi.





Gambar 2. 11 Gaya Lintang rencana pada kolom SRPMM

- (b) Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban yang melibatkan gaya gempa, E dengan E ditingkatkan oleh Ω_o .

Kekuatan geser nominal beton, V_n , merupakan kombinasi dari kuat geser yang dipikul oleh beton, V_c , dan kuat geser yang dipikul oleh baja tulangan, V_s , atau dalam persamaan dapat dituliskan:

$$V_n = V_c + V_s$$

Besarnya V_c untuk komponen struktur yang dibebani tekan aksial menurut SNI 2847-2013 pasal 12.2.1.2 adalah:

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d$$

Dan besarnya V_s minimum yang harus dimiliki oleh tulangan geser adalah:

$$V_{s(min)} = \frac{1}{3} b_w d$$

Perencanaan tulangan geser dibagi menjadi beberapa kondisi seperti yang sudah dijelaskan pada perencanaan geser balok. Setelah mengetahui kondisi dari gaya geser terfaktor,

maka dapat menghitung kebutuhan tulangan geser kolom.

2.7 Perencanaan Struktur Bawah

2.7.1 Pondasi

Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 20 meter di bawah permukaan tanah; Dalam hal ini, tergantung dari penurunan (*settlement*) yang diizinkan, apabila tidak boleh terjadi penurunan, biasanya digunakan pondasi tiang (*pile foundation*).

Teknik pemasangan pondasi tiang digolongkan menjadi 2 yaitu tiang pancang pracetak dan tiang yang dicor ditempat. Keuntungan menggunakan tiang yang dicor ditempat karena getaran dan keriuhan pada saat melaksanakan pekerjaan sangat kecil, cocok untuk pekerjaan pada daerah yang padat penduduknya

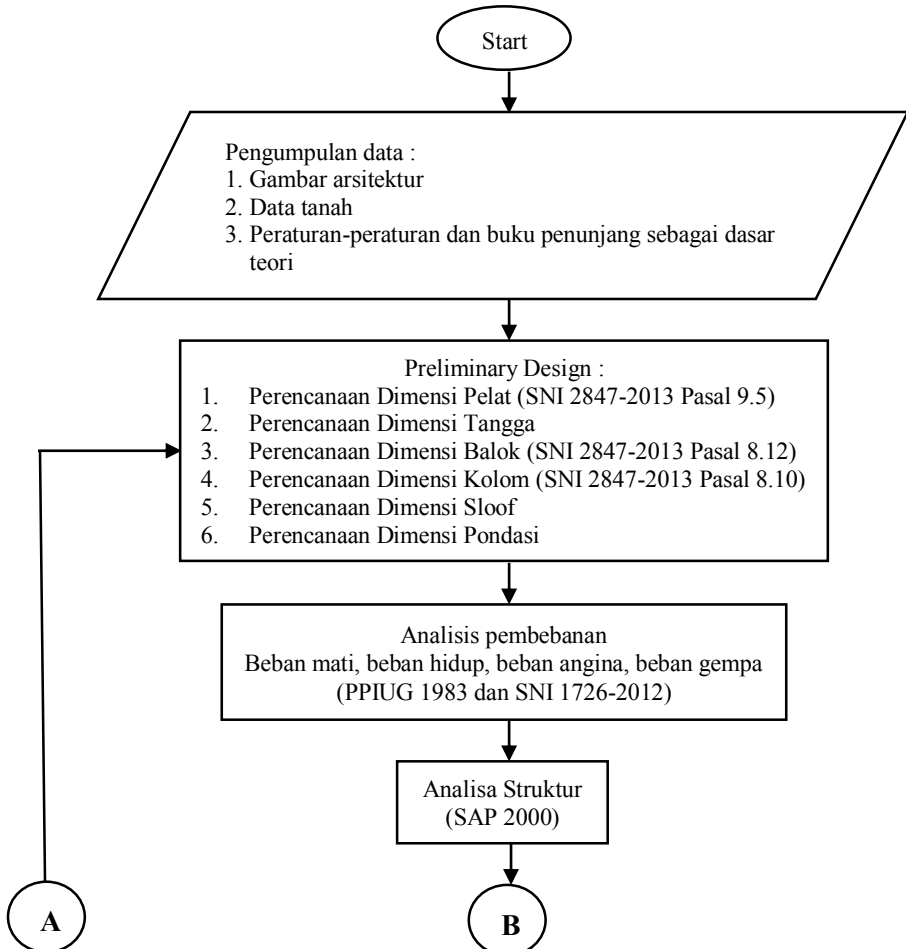
Cara pengecoran tiang ditempat (*cast in place*) adalah suatu cara dimana tiang dicetak menurut lubang pada tanah yang berbentuk seperti tiang, kemudian kedalam lubang ini dituangkan adukan beton.

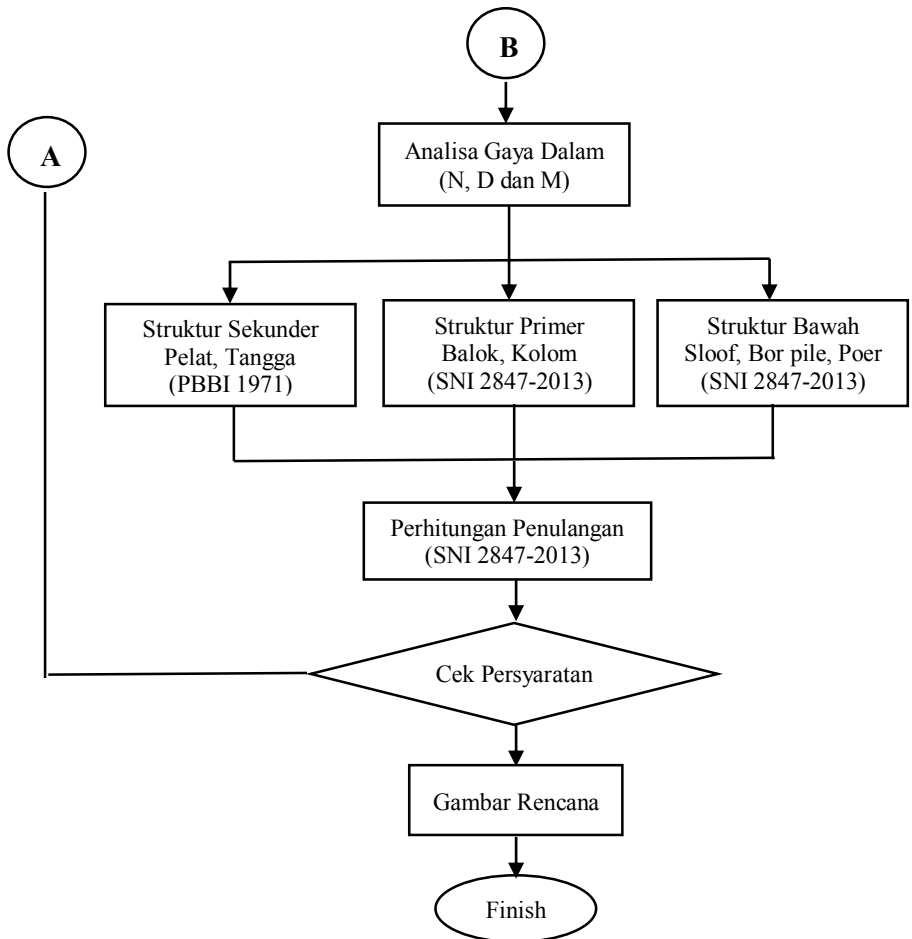
Daya dukung tiang pada tanah pondasi umumnya diperoleh dari jumlah daya dukung terpusat tiang dan tahanan geser pada dinding tiang, besarnya daya dukung yang diizinkan R_a diperoleh dari:

$$R_a = \frac{1}{n} R_u = \frac{1}{n} (R_p + R_f)$$

BAB III METODOLOGI

Langkah-langkah dalam perencanaan Struktur Bangunan SMP Muhammadiyah 5 Surabaya dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah sebagai berikut :





Gambar 3. 1 Flow Chart Perencanaan Struktur Bangunan

3.1 Pengumpulan Data

1. Gambar Arsitektur Bangunan
2. Data tanah
3. Peraturan-peraturan dan buku penunjang lain sebagai dasar teori

3.2 Preliminary Design

1. Penentuan dimensi pelat
2. Penentuan dimensi tangga
3. Penentuan dimensi balok
Penentuan lebar efektif balok sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 8.12
4. Penentuan dimensi kolom
Perencanaan dimensi kolom sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 8.10
5. Penentuan dimensi sloof
6. Penentuan dimensi pondasi

3.3 Perhitungan Pembebanan

1. Pembebanan pada pelat
 - a. Beban mati
Terdiri dari :
 - Berat sendiri pelat
 - Spesi
 - Keramik
 - Plafon dan penggantung
 - Instalasi listrik
 - Perpipa
 - Aspal
 - b. Beban hidup
Ditentukan pada PPIUG 1983 sesuai dengan fungsi bangunan.

2. Pembebanan pada tangga dan bordes
 - a. Beban mati
Terdiri dari :
 - Berat sendiri pelat tangga/bordes
 - Spesi
 - Keramik
 - Railing
 - b. Beban hidup
Ditentukan pada PPIUG 1983
3. Pembebanan angin
4. Pembebanan gempa
 - a. Analisa beban gempa
 - b. Perhitungan gaya gempa dengan menggunakan metode respon dinamik yang mengacu pada SNI 1726-2012
 - c. Input gaya gempa menggunakan program bantu SAP 2000

3.4 Analisa Gaya Dalam (M,N,D)

Nilai gaya dalam diperoleh menggunakan bantuan program SAP 2000 dan PCACOL. Untuk struktur sekunder pelat lantai, nilai gaya dalam diperoleh berdasarkan tabel 13.3.1 pada Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971. Sedangkan untuk struktur sekunder tangga, nilai gaya dalam diperoleh dari perhitungan manual.

3.5 Perhitungan Penulangan

Komponen-komponen struktur di desain sesuai dengan aturan yang terdapat pada SNI 1726-2012. Perhitungan meliputi :

1. Output SAP 2000 yang berupa momen lentur (M), momen torsi (T), gaya aksial (P) dan gaya geser (D).

2. Perhitungan penulangan geser, lentur, dan punter pada semua komponen struktur utama
3. Control perhitungan penulangan
4. Membuat tabel penulangan yang terpakai pada elemen struktur yang dihitung (struktur atas dan struktur bawah)
5. Gambar detail penulangan.

3.6 Cek Persyaratan

1. Pelat
 - a. Kontrol jarak spasi tulangan
 - b. Kontrol jarak spasi tulangan susut
 - c. Kontrol perlu tulangan susut
2. Balok
 - a. Kontrol $M_n \text{ pasang} \geq M_n \text{ untuk penulangan lentur}$
 - b. Kontrol penulangan geser sesuai SRPMM yang terdiri dari lima kondisi
3. Kolom
 - a. Kontrol kemampuan kolom
 - b. Kontrol momen yang terjadi $M_n \text{ pasang} \geq M_n$
4. Borepile dan poer
 - a. Kontrol $P_u \text{ bahan} > P \text{ ijin}$
 - b. Kontrol $p \text{ max tiang} < P \text{ ijin}$
 - c. Kontrol dimensi poer
 - d. Kontrol geser pons

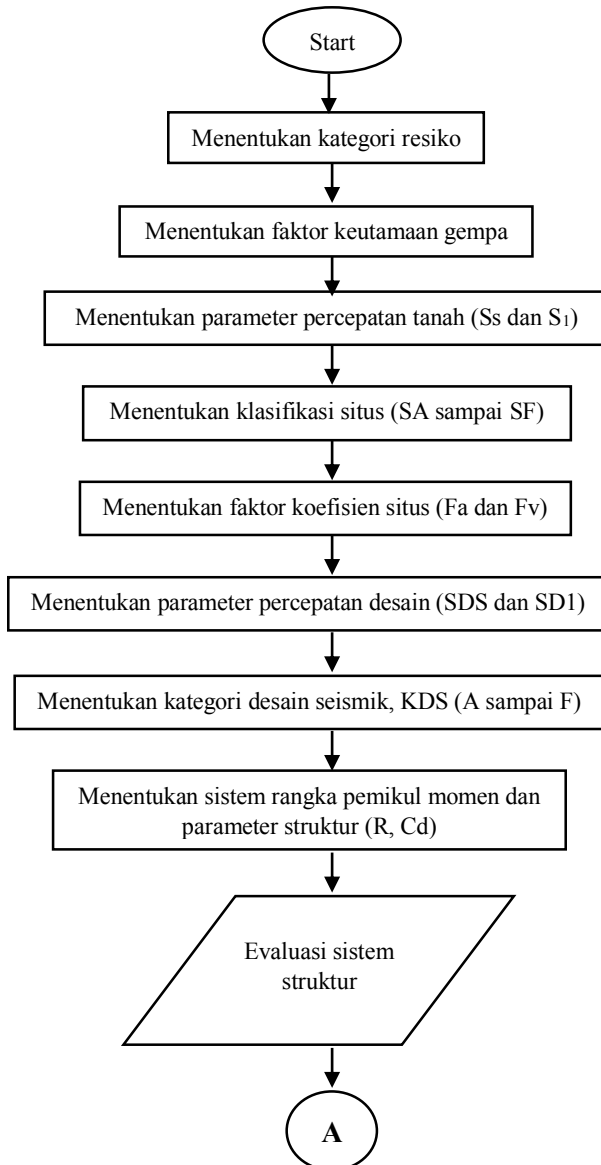
3.7 Gambar Rencana

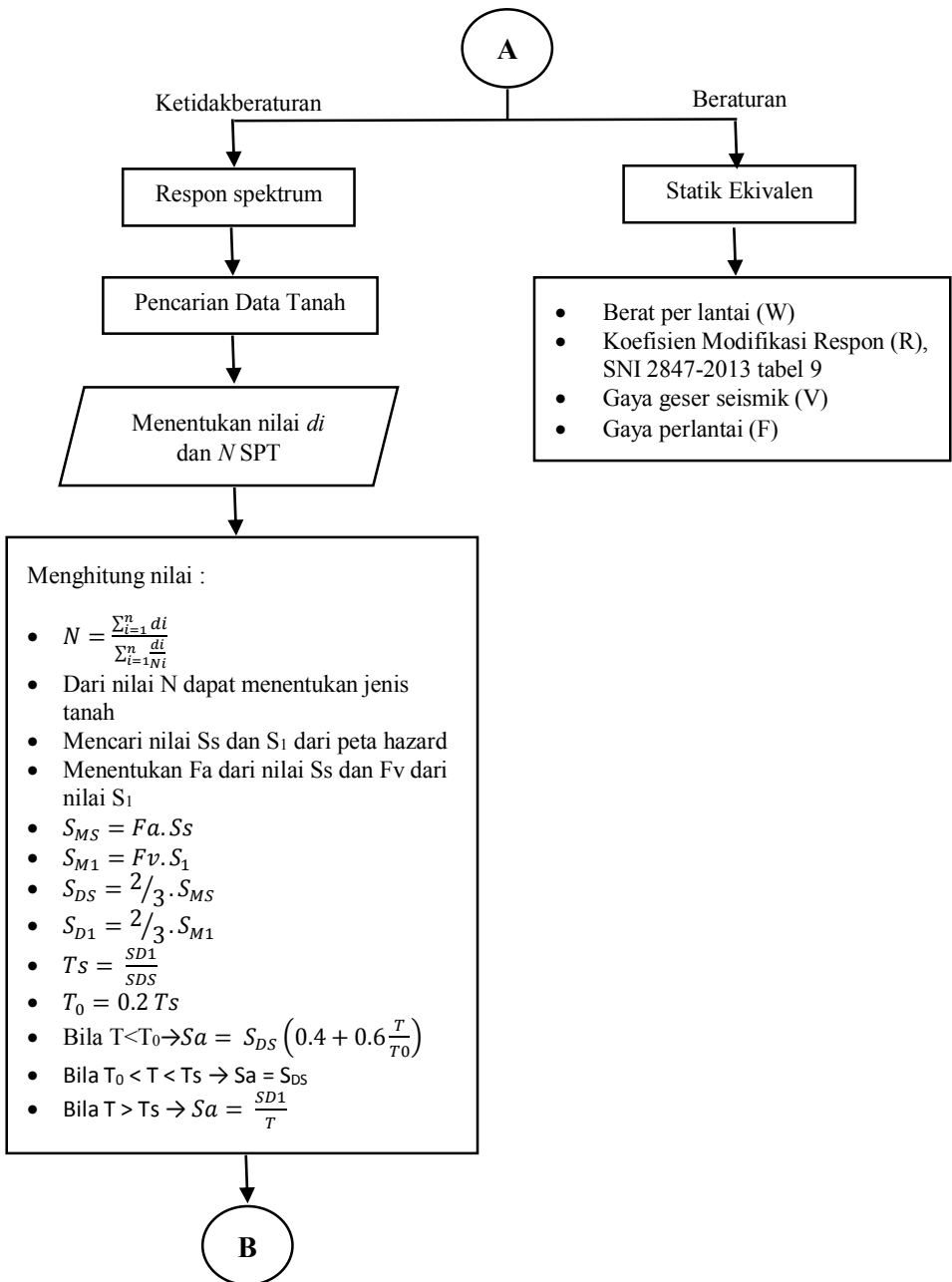
1. Gambar arsitektur
 - a. Gambar denah
 - b. Gambar tampak
2. Gambar potongan
 - a. Potongan memanjang
 - b. Potongan melintang
3. Gambar penulangan
 - a. Gambar penulangan pelat

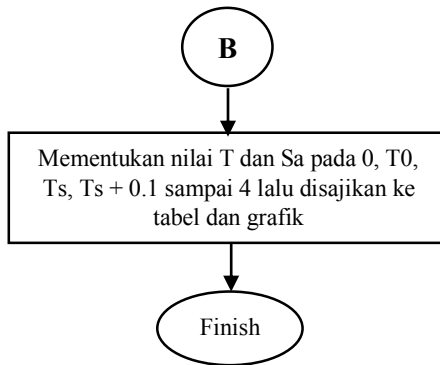
- b. Gambar penulangan tangga
 - c. Gambar penulangan balok
 - d. Gambar penulangan kolom
 - e. Gambar penulangan sloof
 - f. Gambar penulangan pondasi dan poer
4. Gambar struktur
- a. Gambar pelat
 - b. Gambar balok
 - c. Gambar kolom
 - d. Gambar sloof
 - e. Gambar pondasi

3.8 Diagram Alur

3.8.1 Gempa

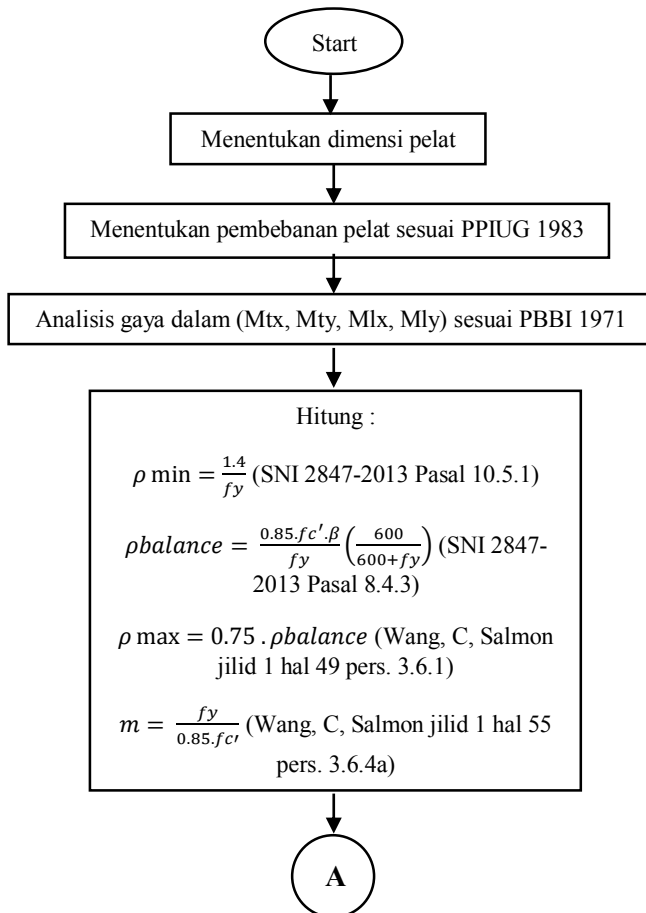


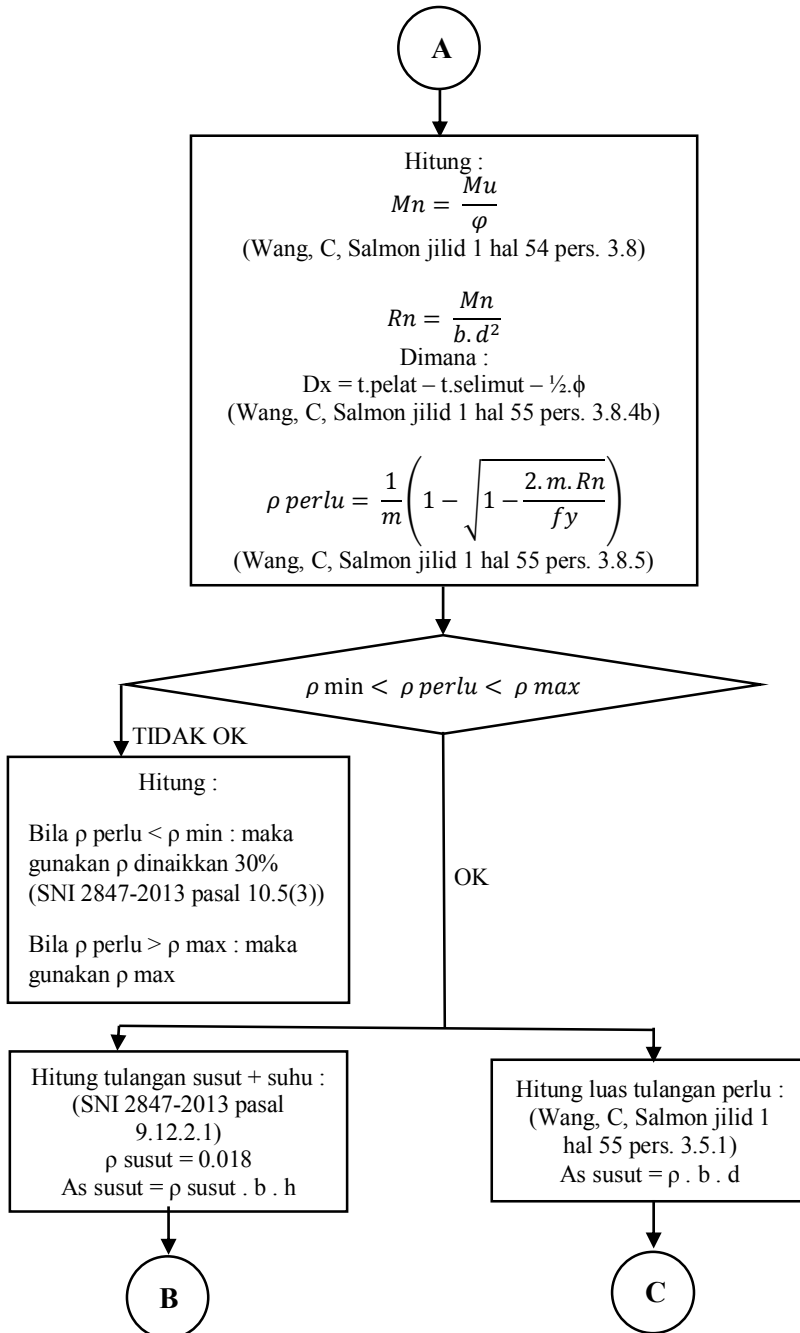


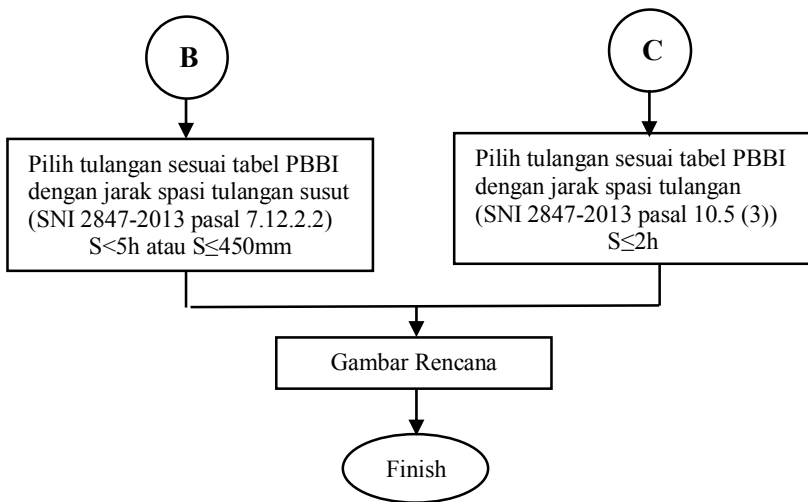


Gambar 3. 2 flow Chart Gempa (Respon Spektrum)

3.8.2 Pelat

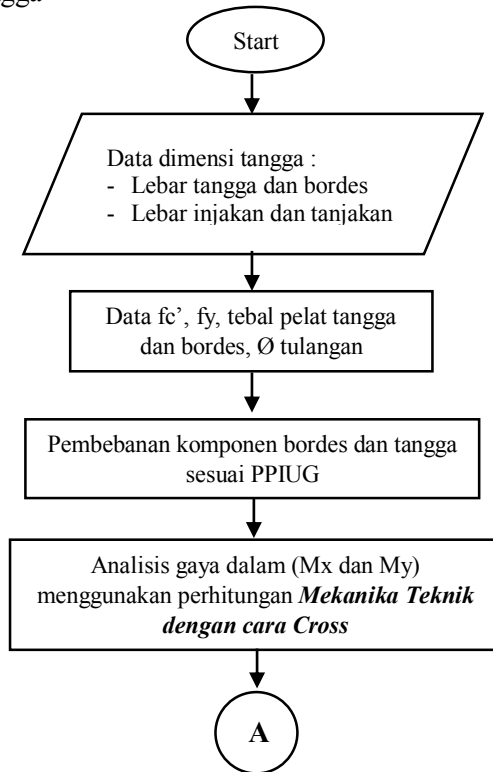


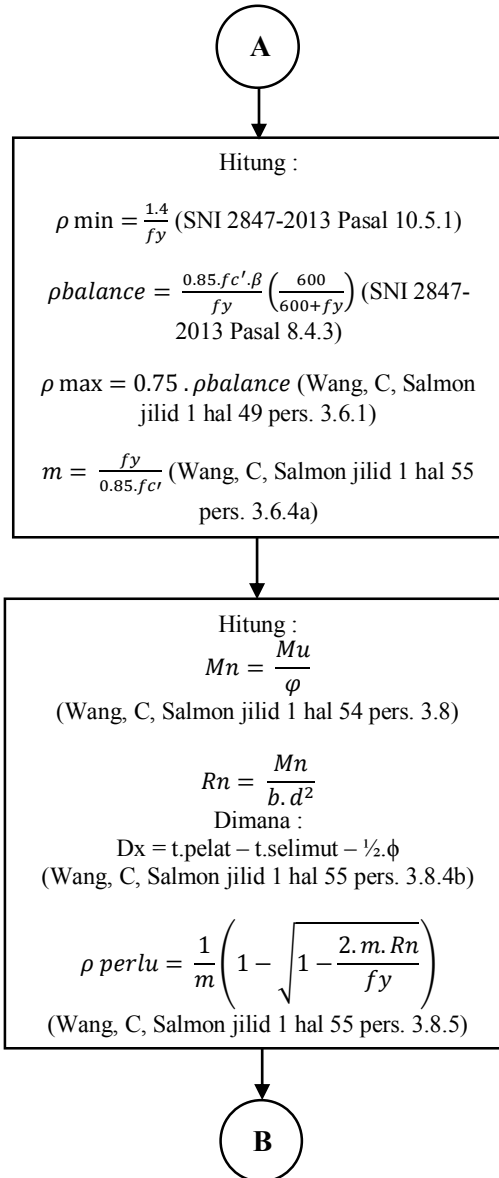


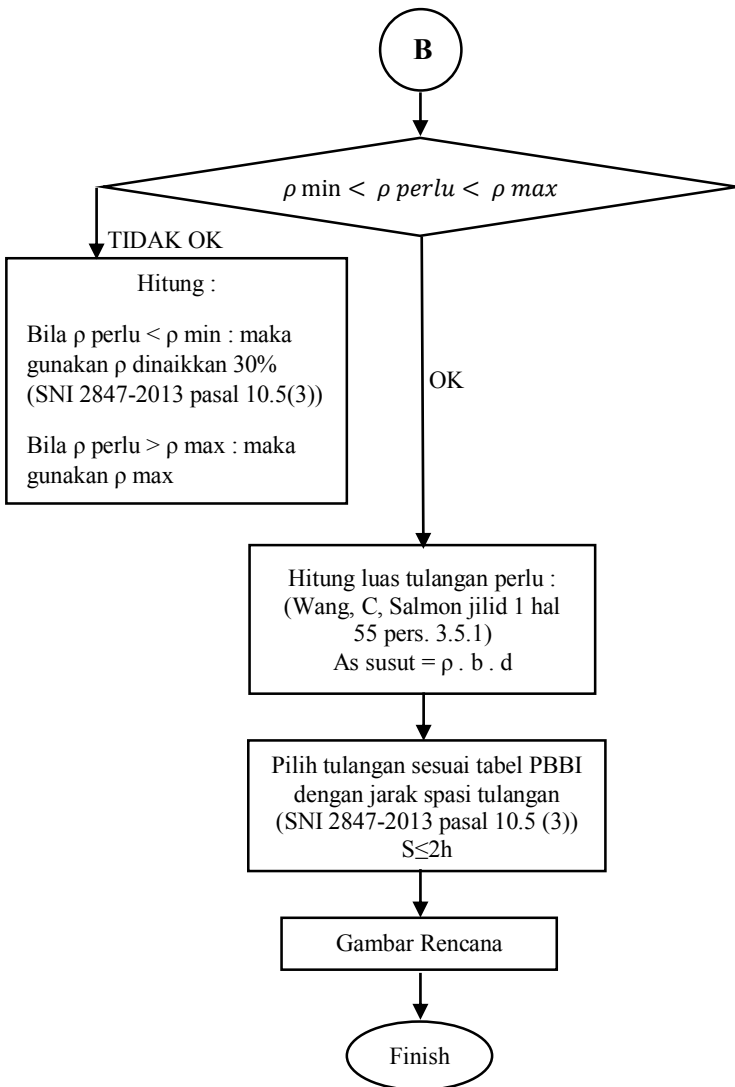


Gambar 3. 3 Flow Chart Perhitungan Pelat

3.8.3 Tangga



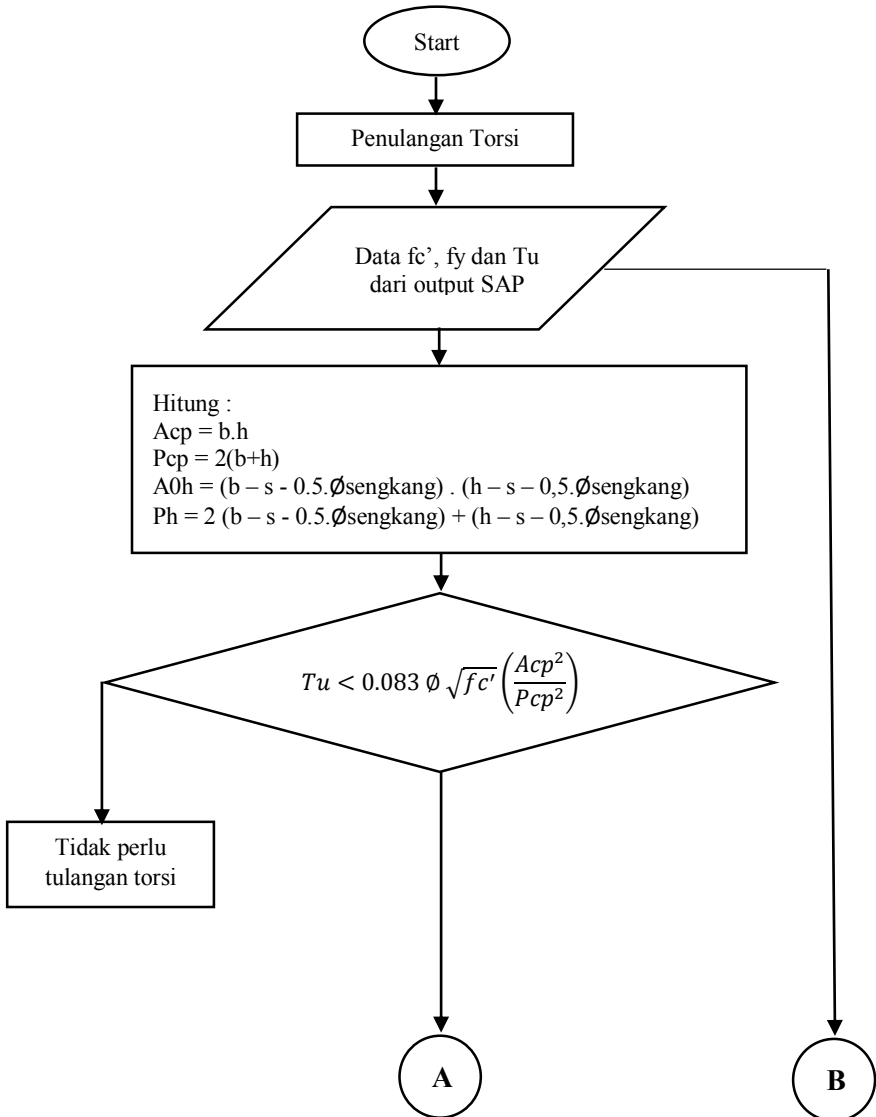


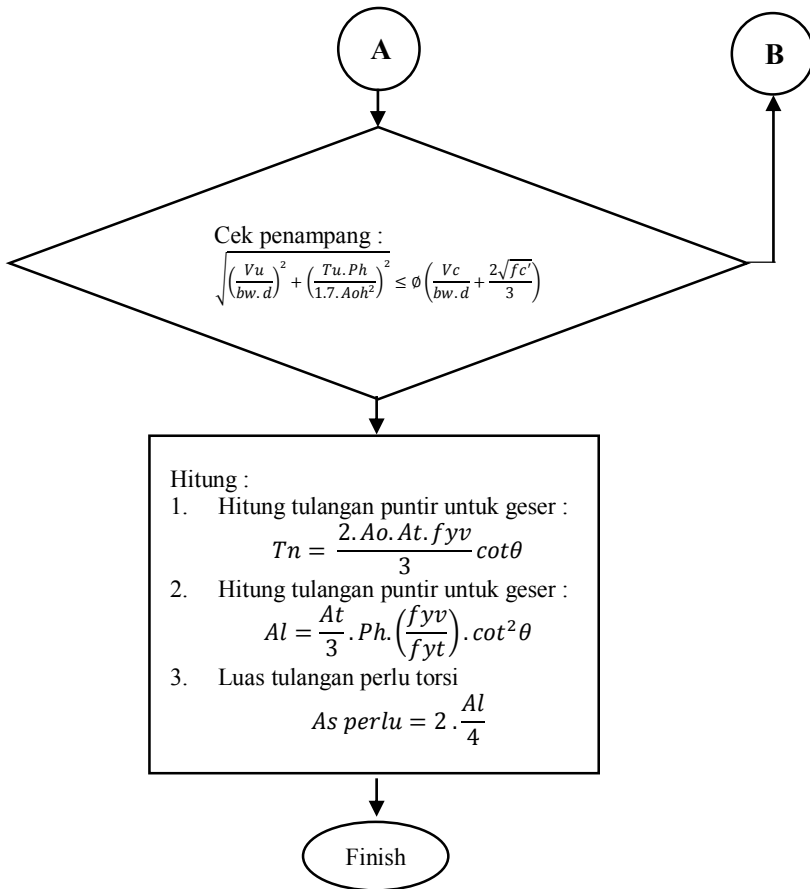


Gambar 3. 4 Flow Chart Perhitungan Tengg

3.8.4 Balok

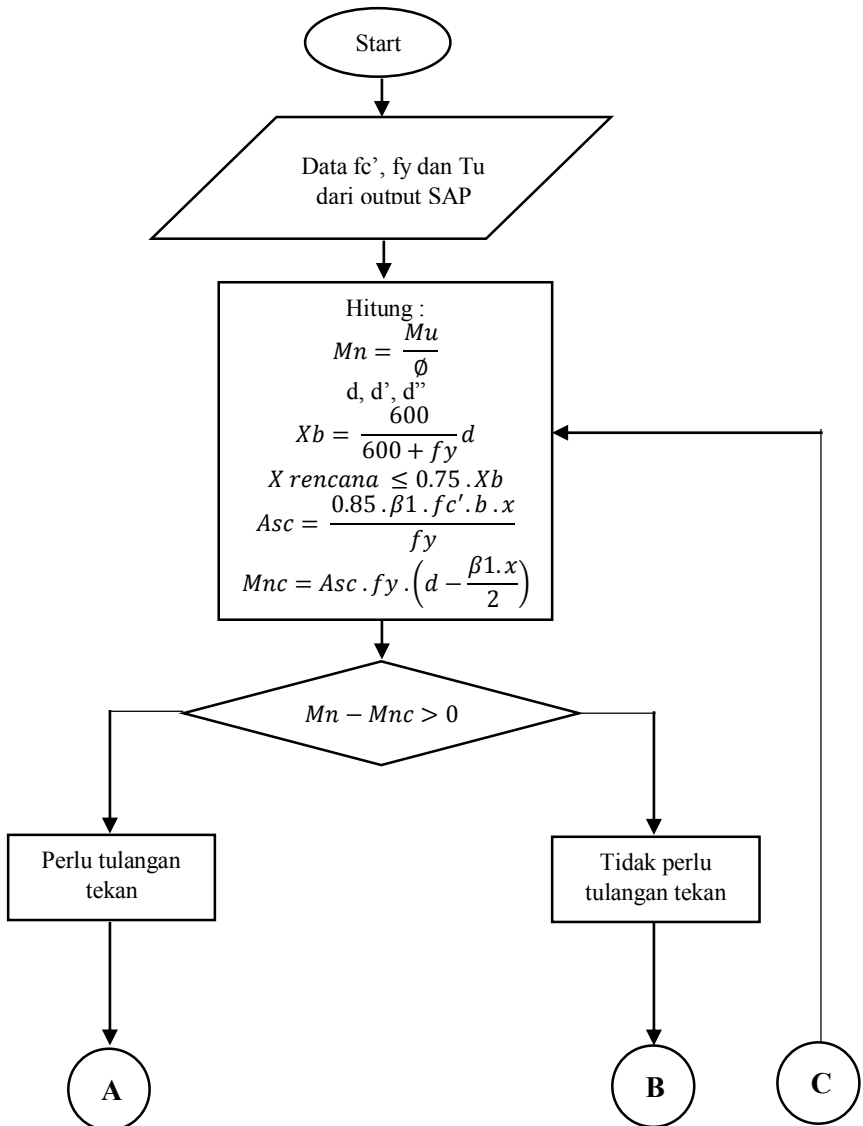
Perhitungan tulangan torsi

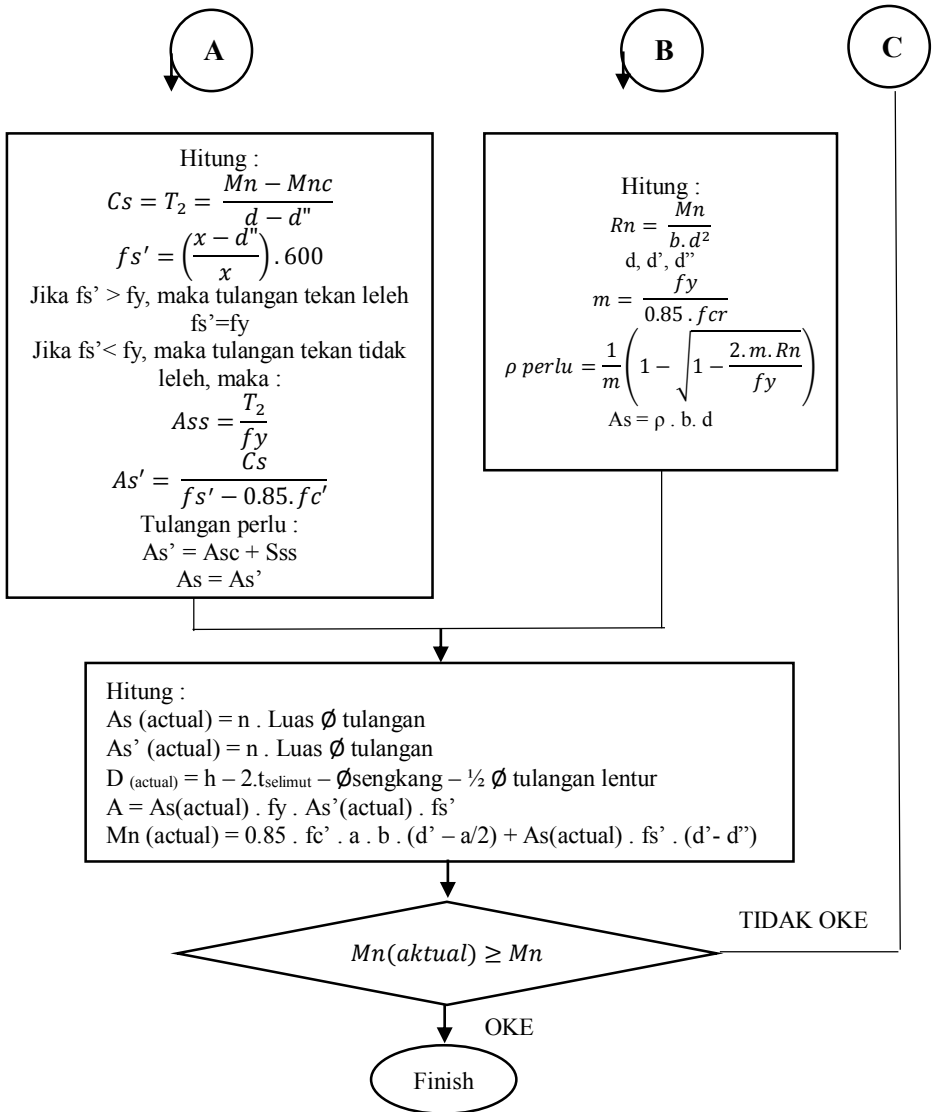




Gambar 3. 5 flow Chart Perhitungan Tulangan Torsi Balok

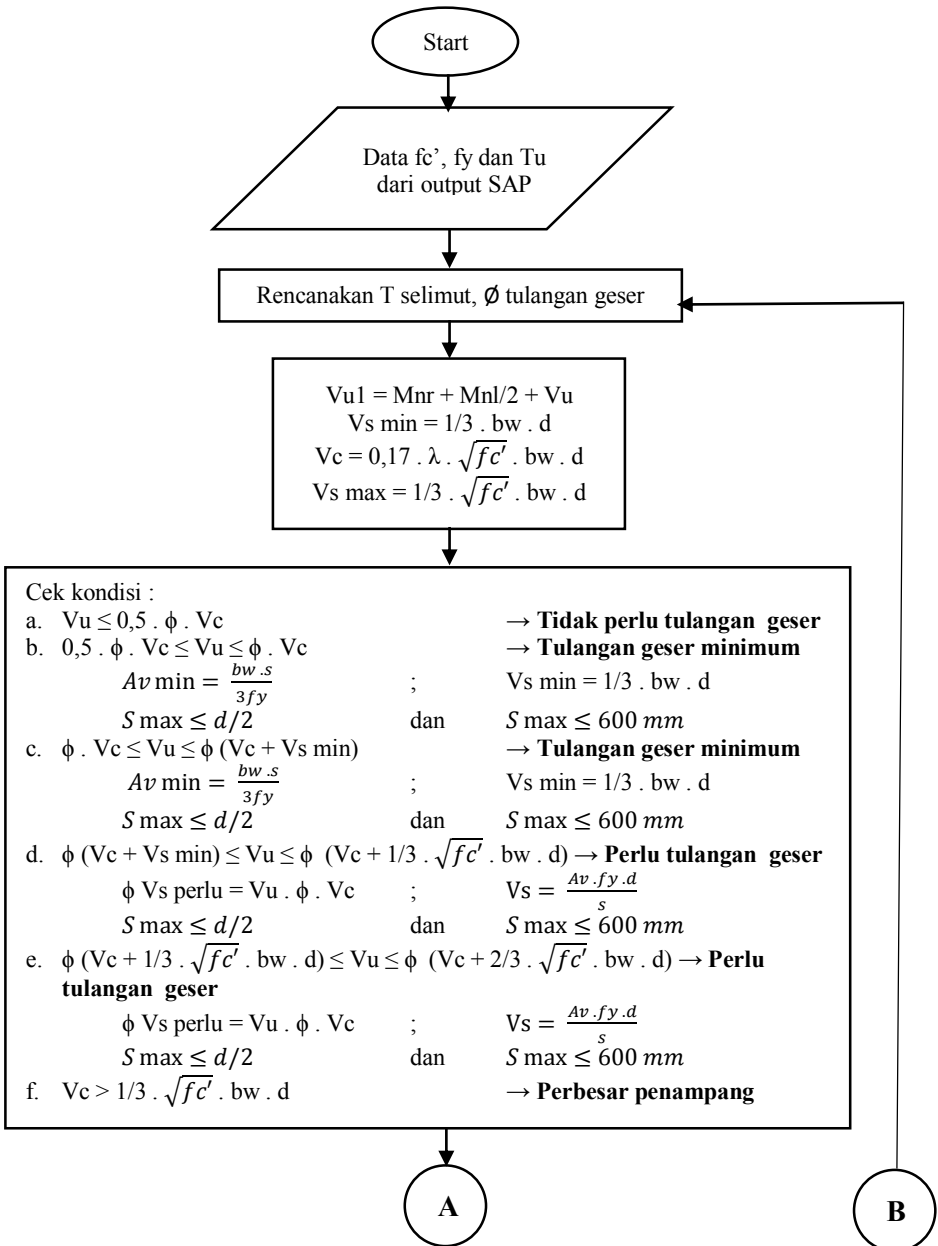
Perhitungan tulangan lentur

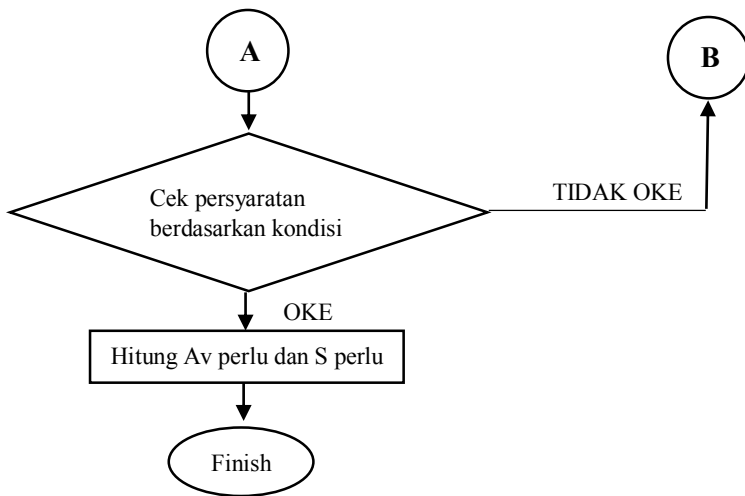




Gambar 3. 6 Flow Chart Perhitungan Lentur Balok

Perhitungan penulangan geser

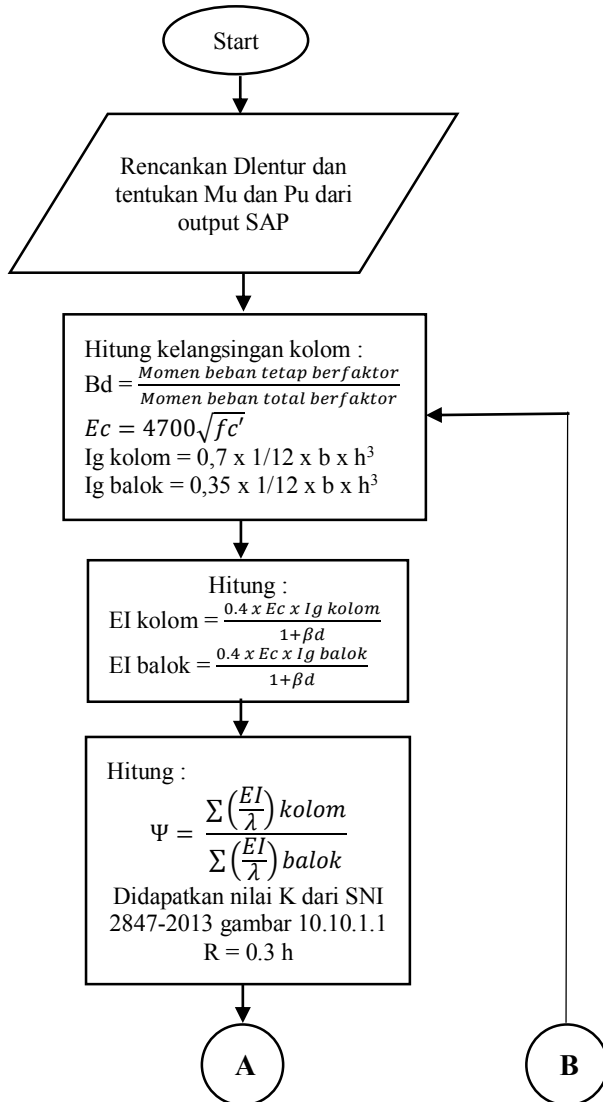


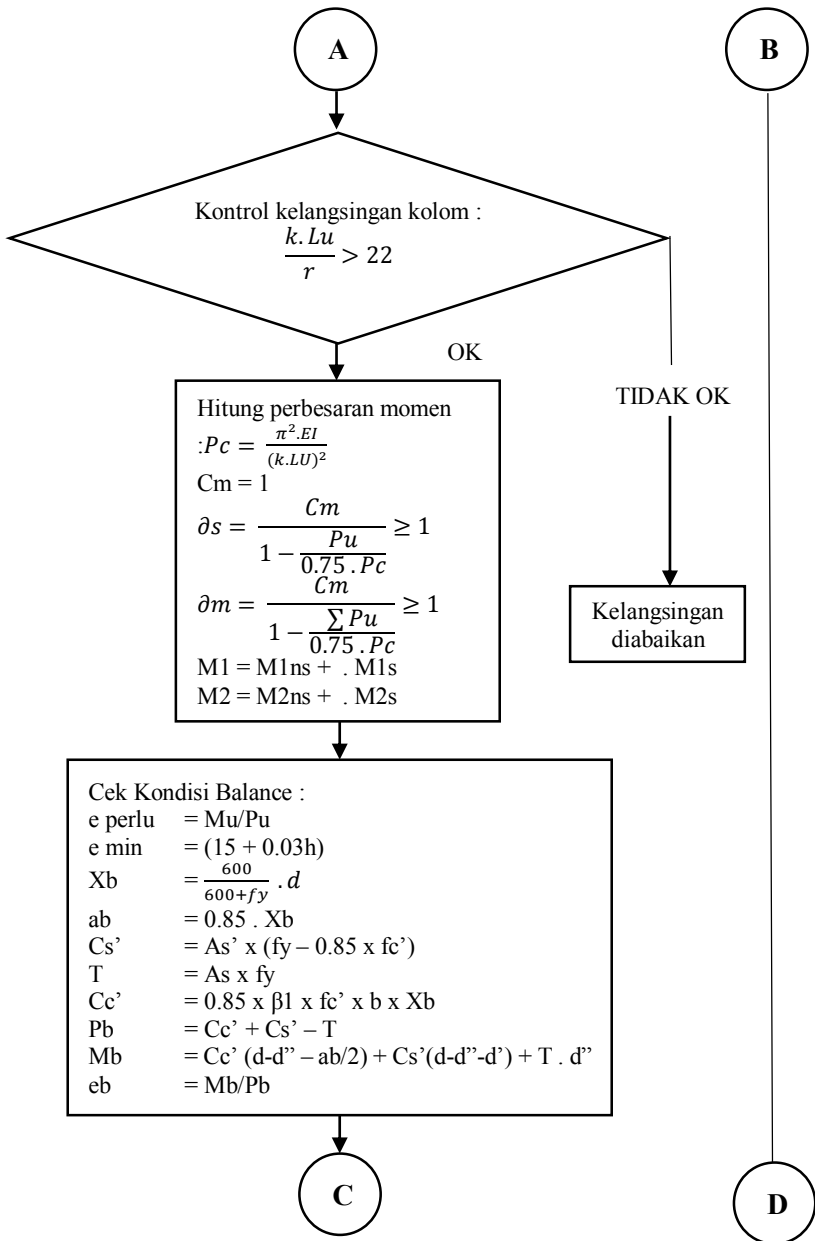


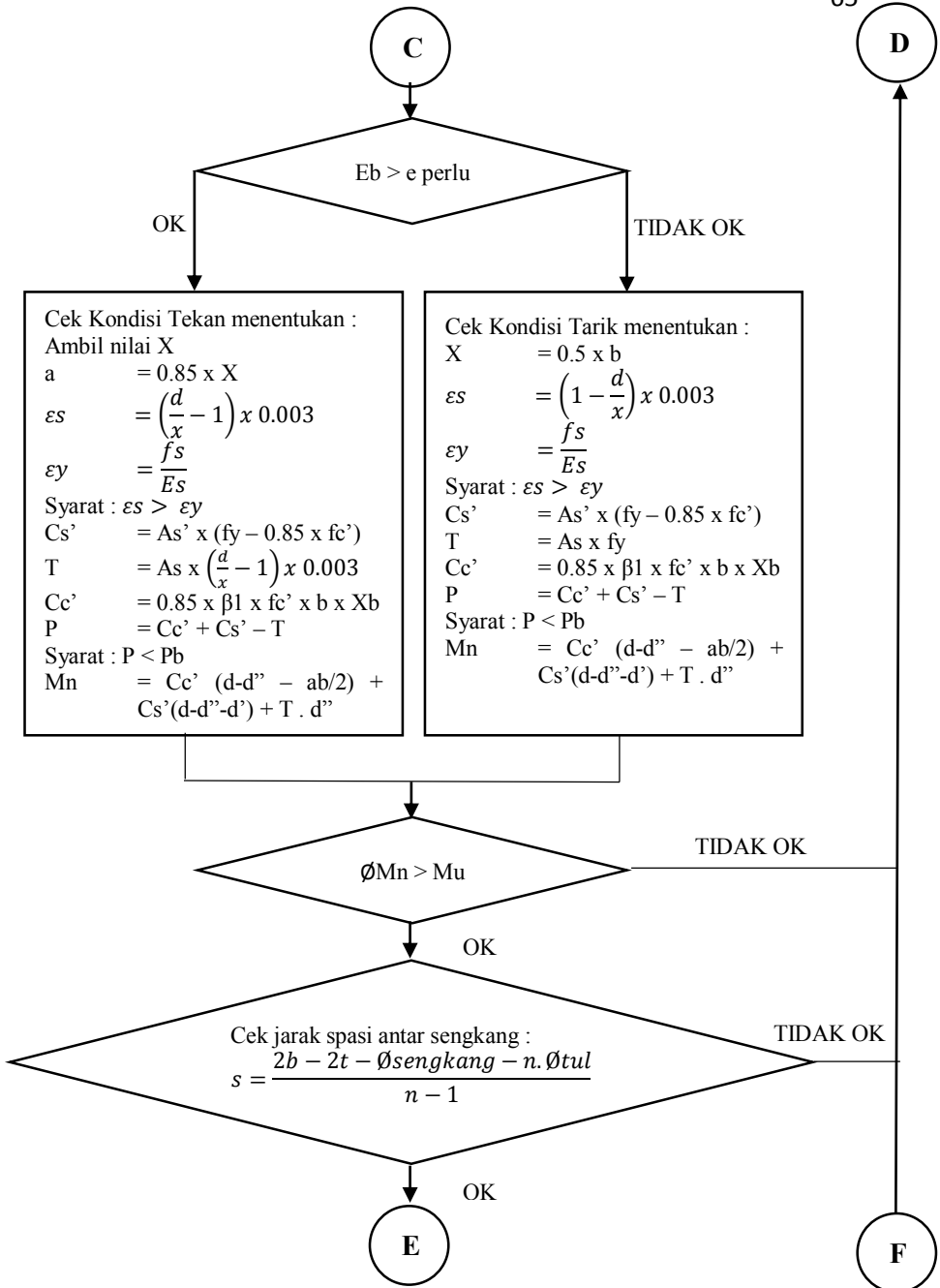
Gambar 3. 7 Flow Chart Perhitungan Geser Balok

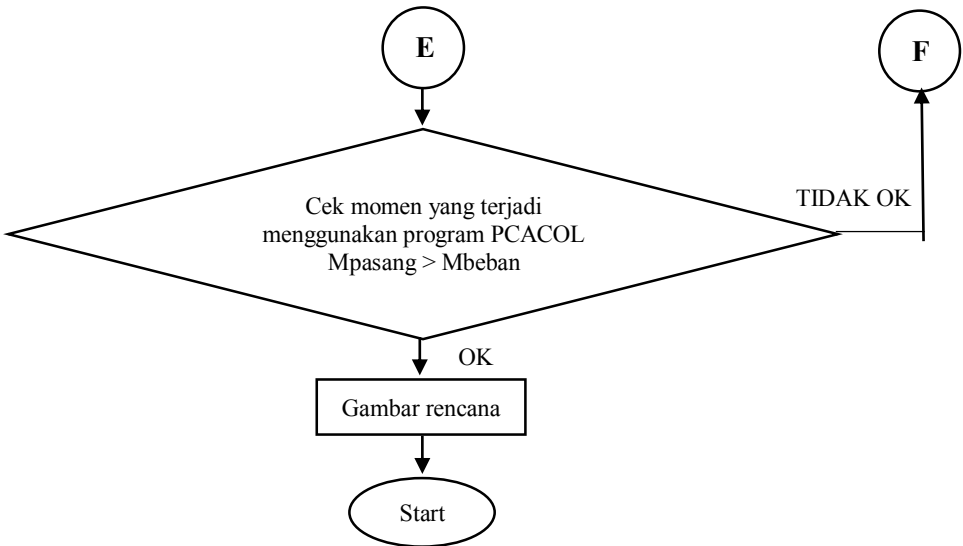
3.8.5 Kolom

Perhitungan tulangan lentur kolom



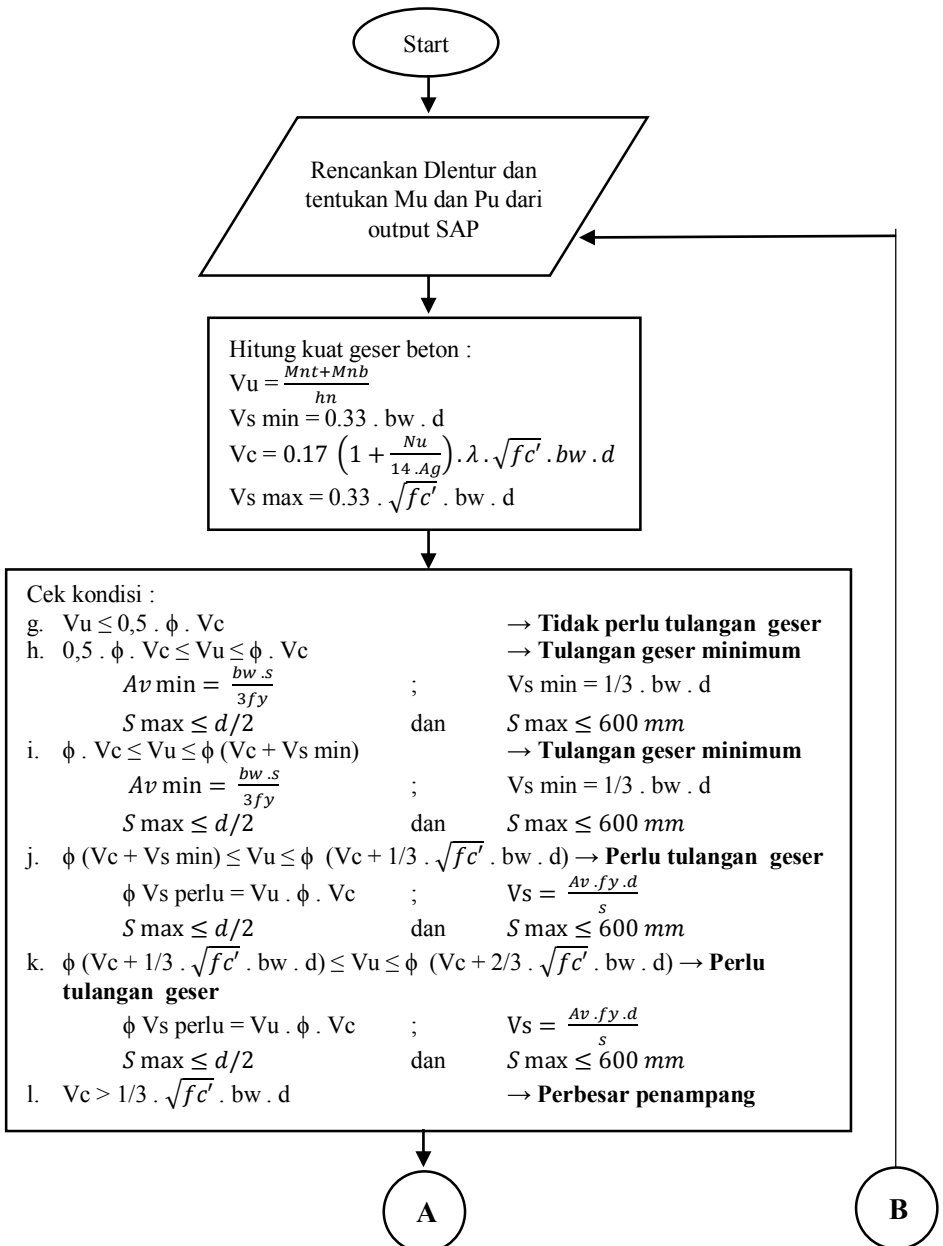


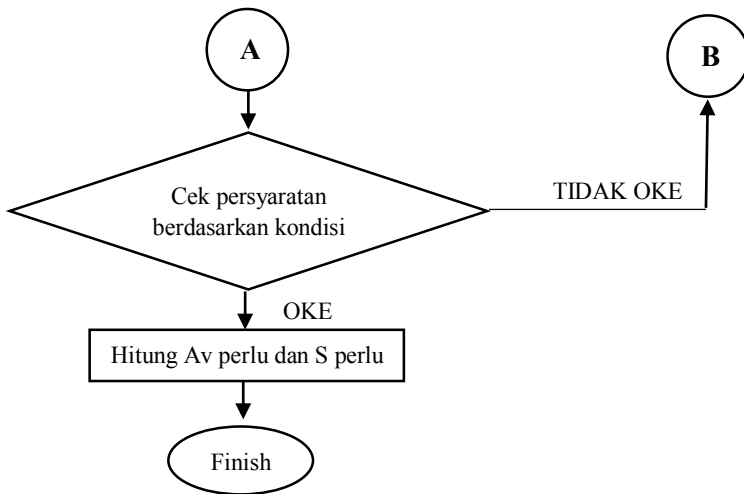




Gambar 3. 8 Flow Chart Perhitungan Lentur Kolom

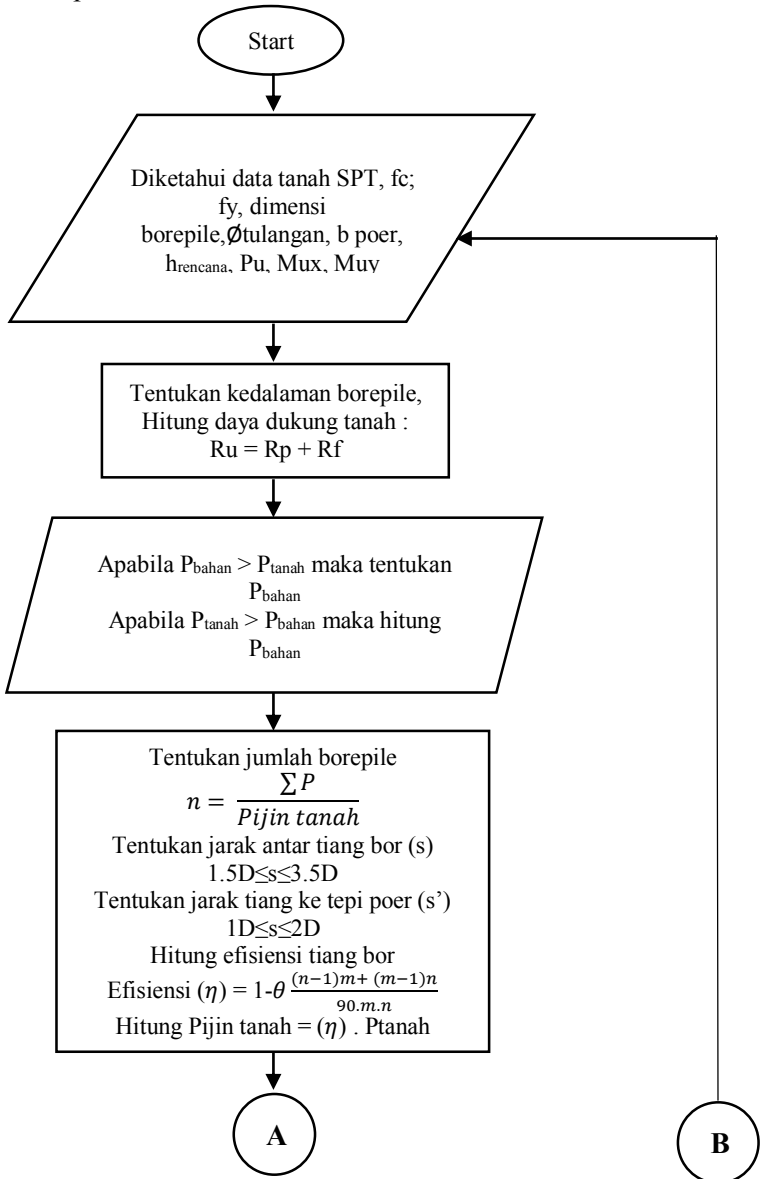
Perhitungan tulangan geser kolom

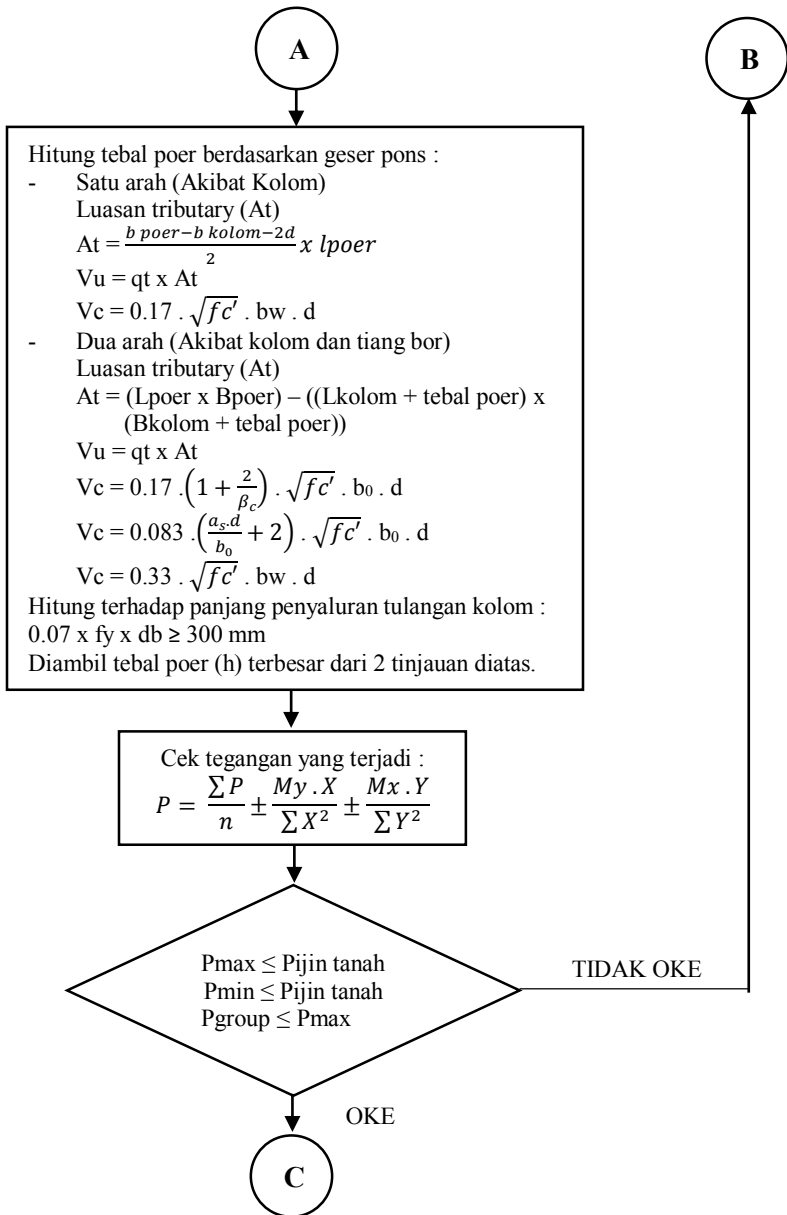


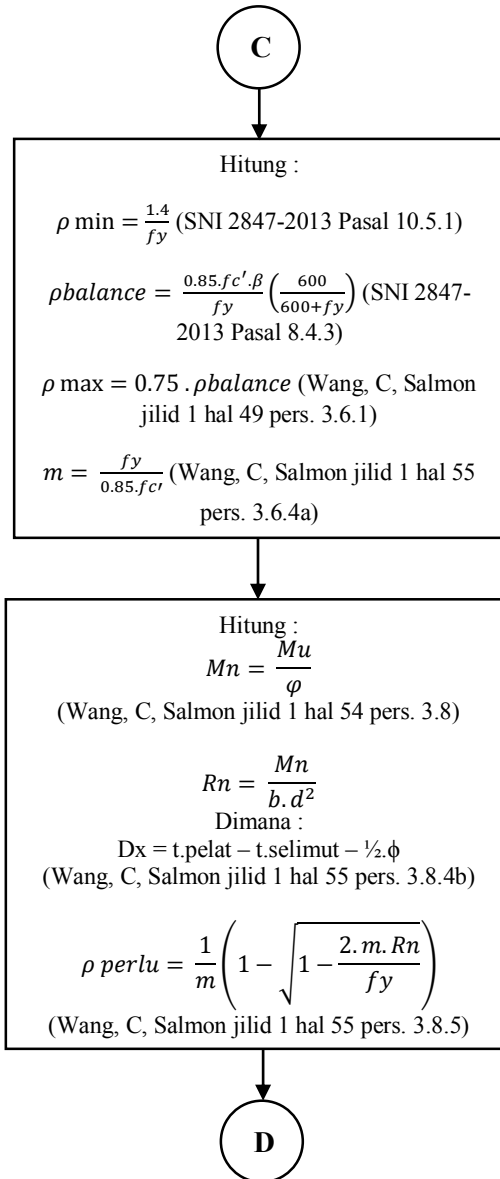


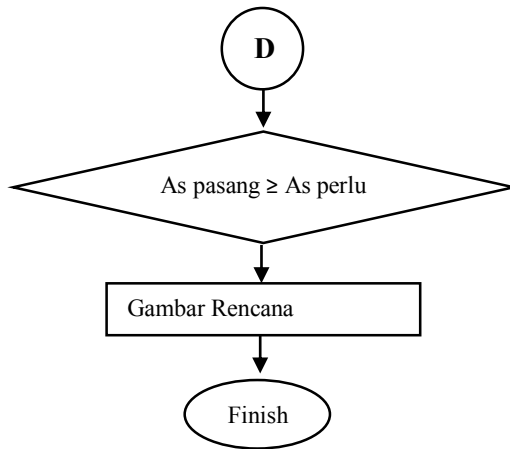
Gambar 3. 9 Flow Chart Perhitungan Geser Kolom

3.8.6 Pilecap



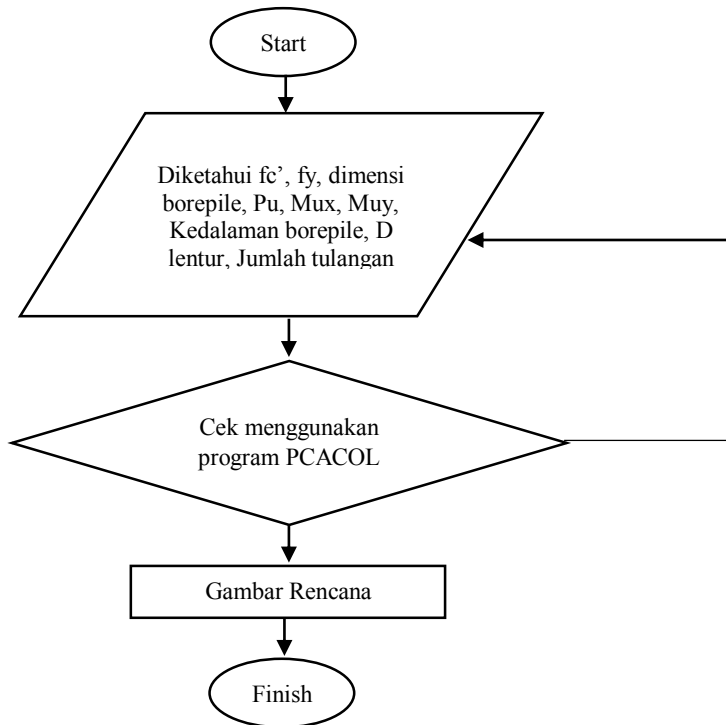






Gambar 3. 10 Flow Chart Perhitungan Pilecap

3.8.7 Pondasi Borepile



Gambar 3. 11 Flow Chart Perhitungan Borepile

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Awal Struktur

Dalam merencanakan struktur bangunan gedung, langkah awal yang perlu dilakukan adalah menentukan dimensi-dimensi komponen struktur yang digunakan dalam perencanaan bangunan tersebut.

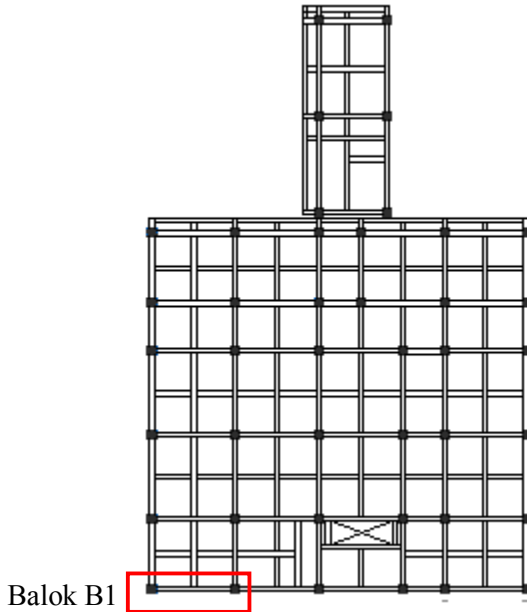
4.1.1 Perhitungan Dimensi Balok

Adapun data-data perencanaan, gambar denah perencanaan, ketentuan perencanaan dan hasil gambar perencanaan dimensi balok pada Bangunan Gedung SMP Muhammadiyah 5 Pucang Surabaya adalah sebagai berikut :

4.1.1.1 Balok Induk

- a. Data Perencanaan
 - Tipe balok : B1
 - Lokasi yang ditinjau : Lantai 1
 - Bentang balok (L_{balok}) : 7 meter
 - Kuat leleh tulangan geser (f_y) : 240 MPa
 - Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 MPa

b. Gambar Denah Perencanaan



Gambar 4. 1 Balok Induk Yang Ditinjau

c. Perhitungan perencanaan

Direncanakan dimensi untuk Balok Induk B1 yaitu 40/70

Kontrol perhitungan :

$$h \geq \frac{L}{14}$$

$$b = \frac{2}{3} \times h$$

$$h \geq \frac{800}{14}$$

$$b = \frac{2}{3} \times 60 \text{ cm}$$

$$h \geq 57.143 \text{ cm}$$

$$b = 40 \text{ cm}$$

$$h \approx 60 \text{ cm}$$

$$b \approx 40 \text{ cm}$$

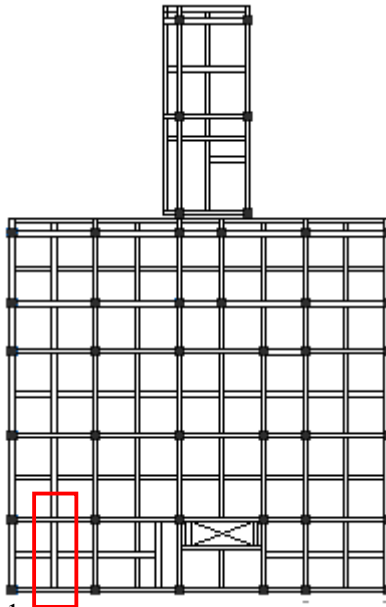
sehingga dimensi 40/70 untuk Balok Induk B1 dapat digunakan

4.1.1.2 Balok Anak

a. Data Perencanaan

- Tipe balok : BA 1
- Lokasi yang ditinjau : Lantai 1
- Bentang balok (L_{balok}) : 7 meter
- Kuat leleh tulangan geser (f_y) : 240 MPa
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 MPa

b. Gambar Denah Perencanaan



Balok BA 1

Gambar 4. 2 Balok Anak Yang Ditinjau

c. Perhitungan perencanaan

Direncanakan dimensi untuk Balok Anak BA1 yaitu 30/50

$$h \geq \frac{L}{\frac{21}{700}}$$

$$b = \frac{2}{3} \times h$$

$$b = \frac{2}{3} \times 35 \text{ cm}$$

$$h \geq 33.33 \text{ cm}$$

$$b = 23.33 \text{ cm}$$

$$h \approx 35 \text{ cm}$$

$$b \approx 25 \text{ cm}$$

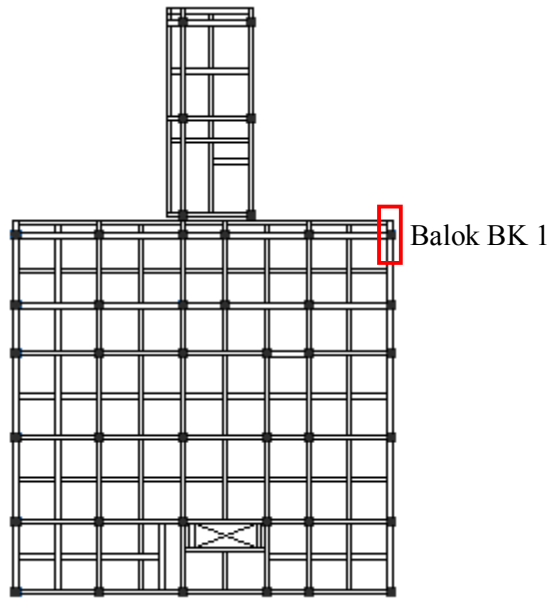
sehingga dimensi 30/50 untuk Balok Anak BA1 dapat digunakan.

4.1.1.3 Balok Kantilever

a. Data Perencanaan

- Tipe balok : BK 1
- Lokasi yang ditinjau : Lantai 1
- Bentang balok (L_{balok}) : 7 meter
- Kuat leleh tulangan geser (f_y) : 240 MPa
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 MPa

b. Gambar Denah Perencanaan



Gambar 4. 3 Balok Kantilever Yang Ditinjau

c. Perhitungan perencanaan

Direncanakan dimensi untuk Balok Kantilever BK1 yaitu 40/70

$$\begin{aligned} h &\geq \frac{L}{8} & b &= \frac{2}{3} \times h \\ h &\geq \frac{177.5}{8} & b &= \frac{2}{3} \times 25 \text{ cm} \\ h &\geq 22.2 \text{ cm} & &= 16.67 \text{ cm} \\ h &\approx 25 \text{ cm} & b &\approx 20 \text{ cm} \end{aligned}$$

sehingga dimensi 40/70 untuk Balok Kantilever BK1 dapat digunakan.

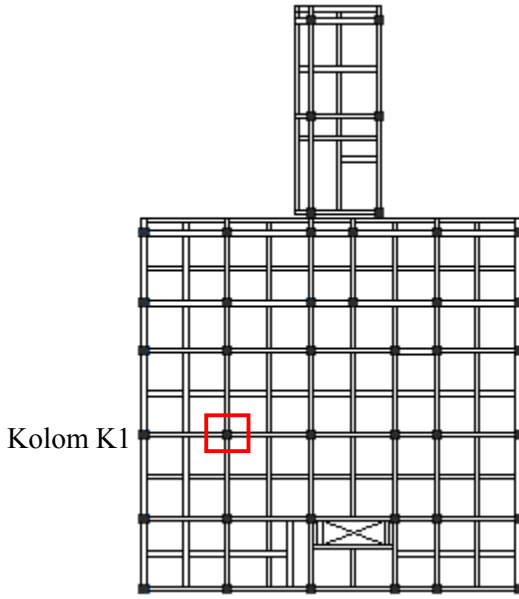
4.1.2 Perhitungan Dimensi Kolom

Adapun data-data perencanaan, gambar denah perencanaan, ketentuan perencanaan dan hasil gambar perencanaan dimensi kolom pada Bangunan Gedung SMP Muhammadiyah 5 Pucang Surabaya adalah sebagai berikut:

a. Data Perencanaan

- o Tipe kolom : K1
- o Tinggi kolom (H_{kolom}) : 4 meter
- o Bentang balok (L_{balok}) : 7 meter
- o Dimensi balok (b_{balok}) : 40 cm
- o Dimensi balok (h_{balok}) : 70 cm
- o Kuat leleh tulangan geser (f_y) : 240 MPa
- o Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 MPa

b. Gambar Denah Perencanaan



Gambar 4. 4 Kolom Yang Ditinjau

c. Ketentuan perencanaan

$$\frac{I_{kolom}}{L_{kolom}} \geq 4 \times \frac{I_{balok}}{L_{balok}}$$

d. Perhitungan perencanaan

Direncanakan dimensi untuk Kolom K1 yaitu 70/70

$$\frac{\frac{1}{12} x b x h^3}{H_{kolom}} \geq 4 x \frac{\frac{1}{12} x b x h^3}{L_{balok}}$$

Dimana $h = b$

$$\frac{\frac{1}{12} x h^4}{H_{kolom}} \geq 4 x \frac{\frac{1}{12} x b x h^3}{L_{balok}}$$

$$\frac{\frac{1}{12} x h^4}{400} \geq 4 x \frac{\frac{1}{12} x 40 x 70^3}{800}$$

$$h = 70 \text{ cm}$$

sehingga dimensi 70/70 untuk Kolom K1 dapat digunakan.

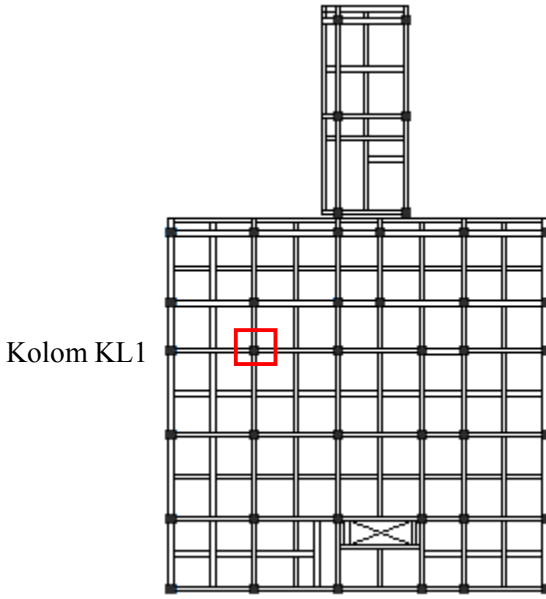
4.1.3 Perhitungan Dimensi Kolom Lingkaran

Adapun data-data perencanaan, gambar denah perencanaan, ketentuan perencanaan dan hasil gambar perencanaan dimensi kolom pada Bangunan Gedung SMP Muhammadiyah 5 Pucang Surabaya adalah sebagai berikut:

a. Data Perencanaan

- Tipe kolom : K1
- Tinggi kolom (H_{kolom}) : 3.5 meter
- Bentang balok (L_{balok}) : 7 meter
- Dimensi balok (b_{balok}) : 40 cm
- Dimensi balok (h_{balok}) : 70 cm
- Kuat leleh tulangan geser (f_y) : 240 MPa
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 MPa

b. Gambar Denah Perencanaan



Gambar 4. 5 Kolom Lingkaran Yang Ditinjau

c. Ketentuan perencanaan

$$\frac{I_{kolom}}{L_{kolom}} \geq 4 \times \frac{I_{balok}}{L_{balok}}$$

d. Perhitungan perencanaan

Direncanakan dimensi untuk Kolom KS1 yaitu D40

$$\frac{\frac{1}{64} \times D^4}{H_{kolom}} \geq 4 \times \frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{L_{balok}}$$

Dimana $h = b$

$$\frac{\frac{1}{64} \times D^4}{H_{kolom}} \geq 4 \times \frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{L_{balok}}$$

$$\frac{\frac{1}{64} \times h^4}{400} \geq 4 \times \frac{\frac{1}{12} \times 40 \times 70^3}{700}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

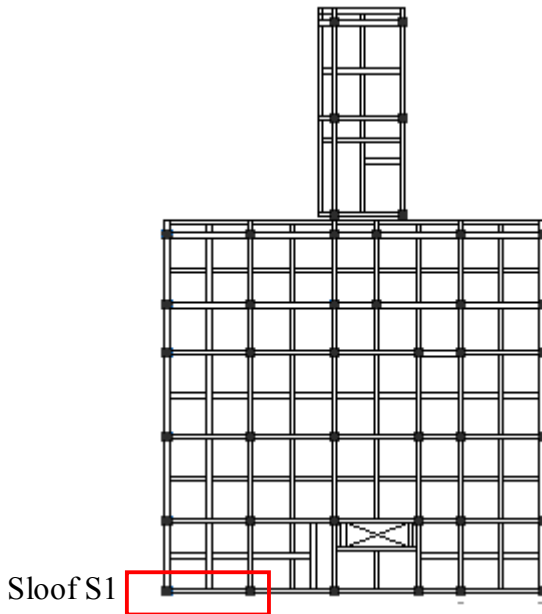
sehingga dimensi D40 untuk Kolom KS1 dapat digunakan.

4.1.4 Perhitungan Dimensi Sloof

Adapun data-data perencanaan, gambar denah perencanaan, ketentuan perencanaan dan hasil gambar perencanaan dimensi kolom pada Bangunan Gedung SMP Muhammadiyah 5 Pucang Surabaya adalah sebagai berikut:

- a. Data Perencanaan
 - Tipe Sloof : S1
 - Bentang Sloof (L_{Sloof}) : 8 meter
 - Tinggi kolom (H_{kolom}) : 3.5 meter
 - Dimensi kolom (h_{kolom}) : 60 cm
 - Kuat leleh tulangan geser (f_y) : 240 MPa
 - Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 MPa

b. Gambar Denah Perencanaan



Gambar 4. 6 Sloof Yang Ditinjau

c. Ketentuan perencanaan

$$\frac{I \text{ kolom}}{L \text{ kolom}} \geq 4 x \frac{I \text{ sloof}}{L \text{ sloof}}$$

d. Perhitungan perencanaan

$$\frac{\frac{1}{12} x b x h^3}{H \text{ kolom}} \geq 4 x \frac{\frac{1}{12} x b x h^3}{L \text{ sloof}}$$

Dimana :

$$\frac{\frac{1}{12} x h^4}{H \text{ kolom}} \geq 4 x \frac{\frac{1}{12} x b x h^3}{L \text{ sloof}}$$

$$\frac{\frac{1}{12} \times 70^4}{350} \geq 4 \times \frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{700}$$

$$\frac{2000833}{350} \geq 4 \times \frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{700}$$

$$h = 70 \text{ cm}$$

$$\text{Direncanakan } b = 2/3 h$$

$$b = \frac{2}{3} \times h$$

$$b = \frac{2}{3} \times 70 \text{ cm}$$

$$b = 46.67 \text{ cm}$$

$$b \approx 50 \text{ cm}$$

maka direncanakan dimensi untuk Sloof S1 yaitu 50/70

4.1.5 Perhitungan Dimensi Pelat

Perencanaan pelat gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya dibagi menjadi pelat lantai, pelat atap, pelat tangga, pelat bordes dan pilecap. Masing-masing pelat direncanakan sebagai berikut:

- Pelat Lantai direncanakan dengan ketebalan 12 cm
- Pelat atap direncanakan dengan ketebalan 12 cm
- Pelat tangga direncanakan dengan ketebalan 15 cm
- Pelat bordes direncanakan dengan ketebalan 15 cm
- Pilecap direncanakan dengan ketebalan 100 cm

4.1.6 Perhitungan Dimensi Tangga

Permodelan struktur tangga ini menggunakan program SAP 2000. Adapun data-data yang diinput adalah sebagai berikut:

1. Perletakan = jepit – sendi - jepit
2. Pembebanan = Dead Load (DL) dan Live Load (LL)

3. Kombinasi = $1.2DL + 1.6LL$
4. Distribusi = (Uniform Shell Load) untuk semua beban DL dan LL, besarnya sesuai dengan pembebanan tangga.

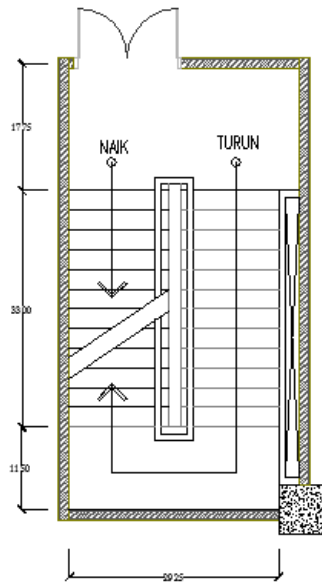
Dalam perencanaan ini, terdapat 3 macam tipe tangga yaitu tipe tangga 1, tipe tangga 2 dan tipe tangga 3. Elevasi tiap lantai mempunyai ketinggian yang berbeda. Berikut akan dibahas perencanaan dimensi tangga tipe 1 sampai 8. Adapun data – data dan perhitungan tangga dan bordes menurut metode SRPMM adalah sebagai berikut :

4.1.6.1 Perencanaan Dimensi Tangga Tipe 1

- a. Data – data perencanaan

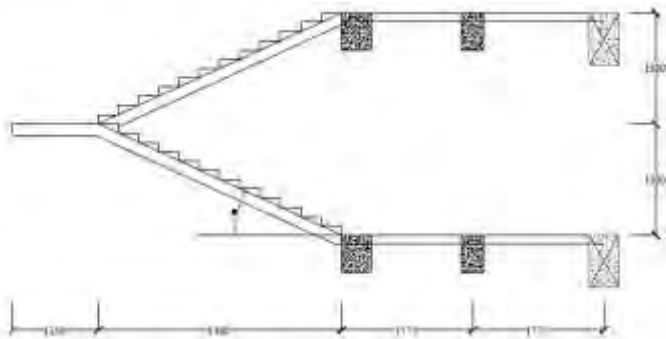
Tipe tangga	: Tipe 1
Panjang datar tangga	: 3300 mm
Tinggi tangga	: 3000 mm
Tinggi pelat bordes	: 1500 mm
Tebal pelat tangga	: 150 mm
Tebal pelat bordes	: 150 mm
Lebar injakan (i)	: 275 mm
Tinggi injakan (t)	: 125 mm

b. Gambar perencanaan tangga



Gambar 4. 7 Gambar Perencanaan Tangga Tipe 1

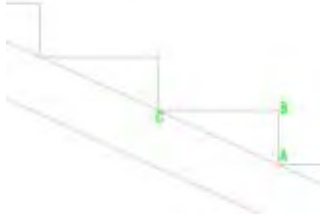
c. Perhitungan perencanaan
Panjang miring tangga



Gambar 4. 8 Perencanaan Panjang Miring Tangga Tipe 1

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{3300^2 + 1500^2} \\
 &= 3624.91 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Panjang miring anak tangga



Gambar 4. 9 Panjang Miring Anak Tangga Tipe 1

$$AB = 125 \text{ mm}$$

$$BC = 275 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 AC &= \sqrt{275^2 + 125^2} \\
 &= 302 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jumlah tanjakan

$$\begin{aligned}
 nt &= \frac{\text{tinggi tangga}}{\text{tinggi injakan}} \\
 &= \frac{3000}{125} \\
 &= 24 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Jumlah injakan

$$\begin{aligned}
 ni &= nt - 1 \\
 &= 24 - 1 \\
 &= 23 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Sudut kemiringan tangga

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \text{Arc tan } t/i \\
 &= \text{Arc tan } 275/125 \\
 &= 24.5^0 \\
 &= 25^0
 \end{aligned}$$

Syarat sudut kemiringan tangga

$$25^0 \leq \alpha \leq 40^0$$

$$25^0 \leq 25^0 \leq 40^0 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Tebal pelat ekuivalen

$$L\Delta 1 = L\Delta 2$$

$$\frac{1}{2} x i x t = \frac{1}{2} x \sqrt{i^2 + t^2} x d$$

$$171.875 \text{ cm}^2 = 64 x d$$

$$d = \frac{171.875 \text{ cm}^2}{64}$$

$$d = 11.38 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{2}d = 5.69 \text{ cm}$$

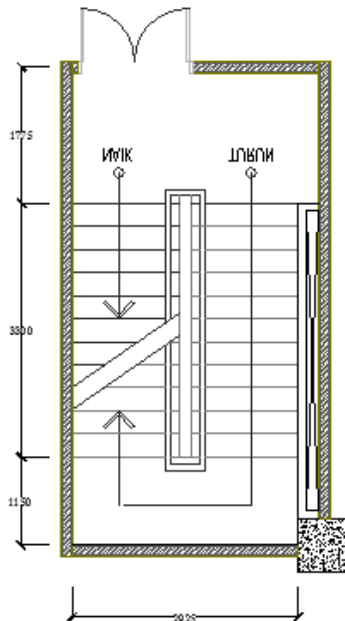
Maka tebal efektif pelat tangga = 56.9 mm + 150 mm \approx 206.9 mm

4.1.6.2 Perencanaan Dimensi Tangga Tipe 2

a. Data – data perencanaan

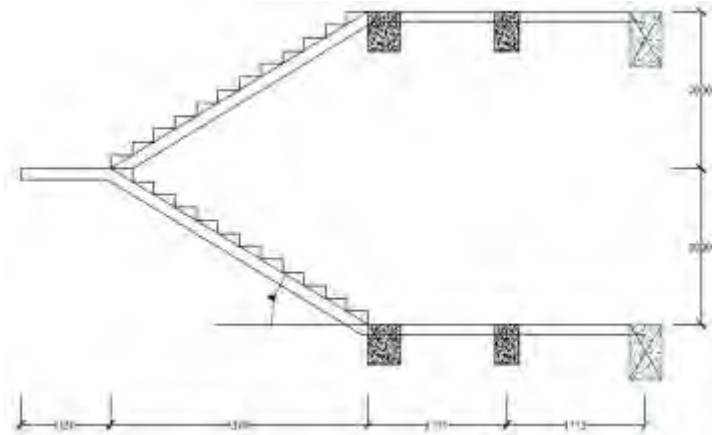
Tipe tangga	: Tipe 2
Panjang datar tangga	: 3300 mm
Tinggi tangga	: 4000 mm
Tinggi pelat bordes	: 1500 mm
Tebal pelat tangga	: 150 mm
Tebal pelat bordes	: 150 mm
Lebar injakan (i)	: 275 mm
Tinggi injakan (t)	: 167 mm

b. Gambar perencanaan



Gambar 4. 10 Perencanaan Tangga Tipe 2

- c. Perhitungan perencanaan
Panjang miring tangga

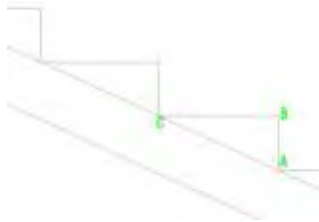


Gambar 4. 11 Panjang Miring Tangga Tipe 2

$$= \sqrt{3300^2 + 2000^2}$$

$$= 3859 \text{ mm}$$

Panjang miring anak tangga



Gambar 4. 12 Panjang Miring Anak Tangga Tipe 2

$$AB = 167 \text{ mm}$$

$$BC = 275 \text{ mm}$$

$$AC = \sqrt{275^2 + 167^2}$$

$$= 322 \text{ mm}$$

Jumlah tahanan

$$\begin{aligned}
 n_t &= \frac{\text{tinggi tangga}}{\text{tinggi injakan}} \\
 &= \frac{4000}{167} \\
 &= 24 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Jumlah injakan

$$\begin{aligned}
 n_i &= n_t - 1 \\
 &= 24 - 1 \\
 &= 23 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Sudut kemiringan tangga

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \text{Arc tan } t/i \\
 &= \text{Arc tan } 275/167 \\
 &= 31.22^\circ \\
 &= 31^\circ
 \end{aligned}$$

Syarat sudut kemiringan tangga

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 31^\circ \leq 40^\circ \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Tebal pelat ekuivalen

$$L\Delta 1 = L\Delta 2$$

$$\frac{1}{2} x i x t = \frac{1}{2} x \sqrt{i^2 + t^2} x d$$

$$229.2125 \text{ cm}^2 = 16 x d$$

$$d = \frac{229.2125 \text{ cm}^2}{16}$$

$$d = 14.26 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{2} d = 7.13 \text{ cm}$$

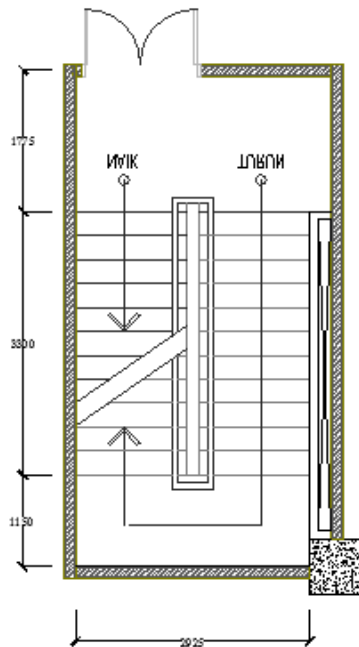
Maka tebal efektif pelat tangga = 71.3 mm + 150 mm \approx 221.3 mm

4.1.6.3 Perencanaan Dimensi Tangga Tipe 3

a. Data – data perencanaan

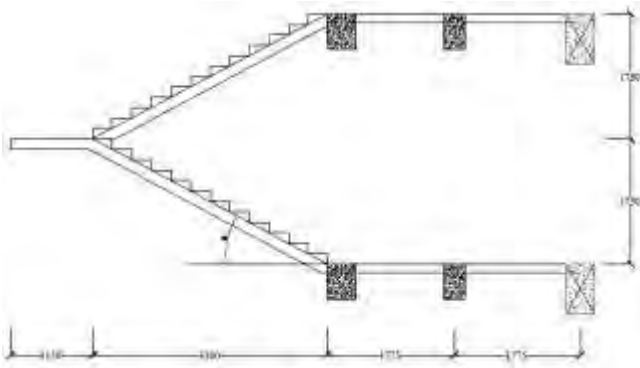
Tipe tangga	: Tipe 3
Panjang datar tangga	: 3300 mm
Tinggi tangga	: 3500 mm
Tinggi pelat bordes	: 1750 mm
Tebal pelat tangga	: 150 mm
Tebal pelat bordes	: 150 mm
Lebar injakan (i)	: 275 mm
Tinggi injakan (t)	: 146 mm

b. Gambar perencanaan



Gambar 4. 13 Perencanaan Tangga Tipe 3

- c. Perhitungan perencanaan
Panjang miring tangga



Gambar 4. 14 Panjang Miring Tangga Tipe 3

$$= \sqrt{3300^2 + 1750^2}$$

$$= 3375 \text{ mm}$$

Panjang miring anak tangga



Gambar 4. 15 Panjang Miring Anak Tangga Tipe 3

$$AB = 146 \text{ mm}$$

$$BC = 275 \text{ mm}$$

$$AC = \sqrt{275^2 + 146^2}$$

$$= 311 \text{ mm}$$

Jumlah tanjakan

$$\begin{aligned}
 n_t &= \frac{\text{tinggi tangga}}{\text{tinggi injakan}} \\
 &= \frac{3500}{146} \\
 &= 24 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Jumlah injakan

$$\begin{aligned}
 n_i &= n_t - 1 \\
 &= 24 - 1 \\
 &= 23 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Sudut kemiringan tangga

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \text{Arc tan } t/i \\
 &= \text{Arc tan } 275/146 \\
 &= 27.96^0 \\
 &= 28^0
 \end{aligned}$$

Syarat sudut kemiringan tangga

$$\begin{aligned}
 25^0 &\leq \alpha \leq 40^0 \\
 25^0 &\leq 28^0 \leq 40^0 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Tebal pelat ekuivalen

$$\begin{aligned}
 L\Delta 1 &= L\Delta 2 \\
 \frac{1}{2} x i x t &= \frac{1}{2} x \sqrt{i^2 + t^2} x d \\
 200.75 \text{ cm}^2 &= 16 x d \\
 d &= \frac{222.75 \text{ cm}^2}{16} \\
 d &= 12.9 \text{ cm} \\
 \frac{1}{2} d &= 6.45 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

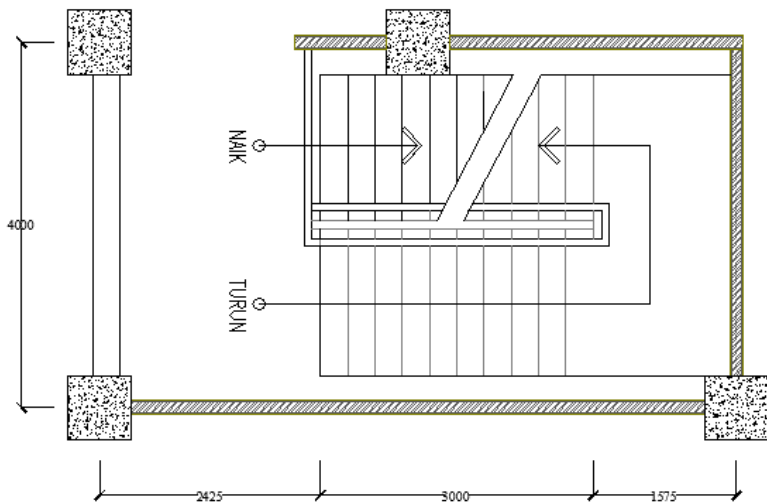
Maka tebal efektif pelat tangga = 64.5 mm + 150 mm \approx 214.5 mm

4.1.6.4 Perencanaan Dimensi Tangga Tipe 4

a. Data – data perencanaan

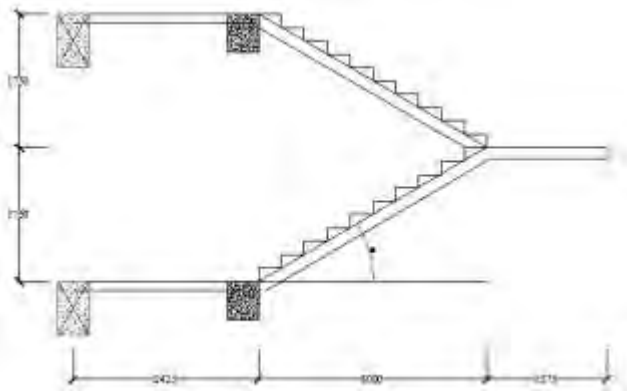
Tipe tangga	: Tipe 4
Panjang datar tangga	: 3000 mm
Tinggi tangga	: 3500 mm
Tinggi pelat bordes	: 1750 mm
Tebal pelat tangga	: 150 mm
Tebal pelat bordes	: 150 mm
Lebar injakan (i)	: 300 mm
Tinggi injakan (t)	: 175 mm

b. Gambar perencanaan



Gambar 4. 16 Perencanaan Tangga Tipe 4

- c. Perhitungan perencanaan
Panjang miring tangga

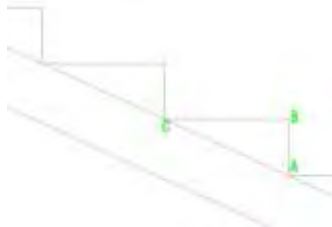


Gambar 4. 17 Panjang Miring Tangga Tipe 4

$$= \sqrt{3000^2 + 1750^2}$$

$$= 3473 \text{ mm}$$

Panjang miring anak tangga



Gambar 4. 18 Panjang Miring Anak Tangga Tipe 4

$$AB = 175 \text{ mm}$$

$$BC = 300 \text{ mm}$$

$$AC = \sqrt{300^2 + 175^2}$$

$$= 347 \text{ mm}$$

Jumlah tanjakan

$$\begin{aligned}
 nt &= \frac{\text{tinggi tangga}}{\text{tinggi injakan}} \\
 &= \frac{3500}{175} \\
 &= 20 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Jumlah injakan

$$\begin{aligned}
 ni &= nt - 1 \\
 &= 20 - 1 \\
 &= 19 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Sudut kemiringan tangga

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \text{Arc tan } t/i \\
 &= \text{Arc tan } 300/175 \\
 &= 30.25^0 \\
 &= 30^0
 \end{aligned}$$

Syarat sudut kemiringan tangga

$$25^0 \leq \alpha \leq 40^0$$

$$25^0 \leq 30^0 \leq 40^0 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Tebal pelat ekuivalen

$$L\Delta 1 = L\Delta 2$$

$$\frac{1}{2} x i x t = \frac{1}{2} x \sqrt{i^2 + t^2} x d$$

$$262.5 \text{ cm}^2 = 17 x d$$

$$d = \frac{262.5 \text{ cm}^2}{17}$$

$$d = 15.12 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{2}d = 7.56 \text{ cm}$$

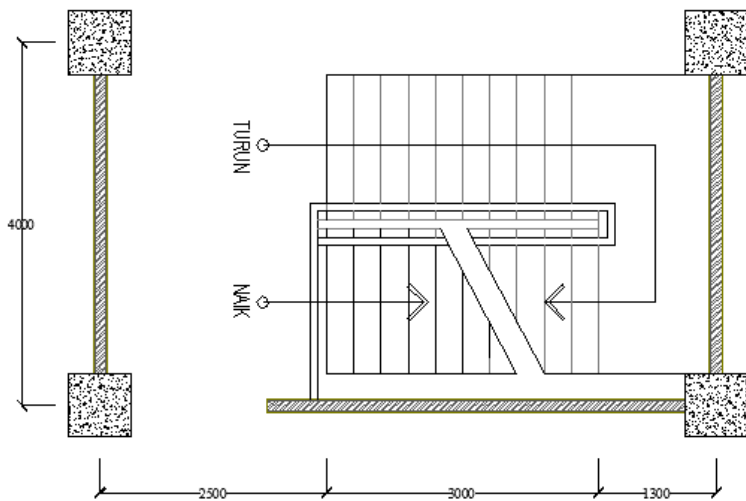
Maka tebal efektif pelat tangga = 7.56 mm + 150 mm \approx 225.6 mm

4.1.6.5 Perencanaan Dimensi Tangga Tipe 5

a. Data – data perencanaan

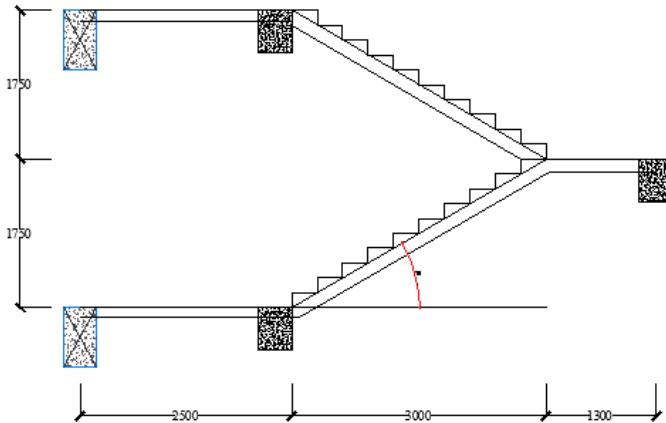
Tipe tangga	: Tipe 5
Panjang datar tangga	: 3000 mm
Tinggi tangga	: 3500 mm
Tinggi pelat bordes	: 1750 mm
Tebal pelat tangga	: 150 mm
Tebal pelat bordes	: 150 mm
Lebar injakan (i)	: 300 mm
Tinggi injakan (t)	: 175 mm

b. Gambar perencanaan



Gambar 4. 19 Perencanaan Tangga Tipe 5

- c. Perhitungan perencanaan
Panjang miring tangga

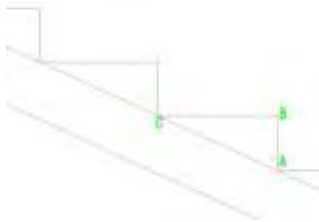


Gambar 4. 20 Panjang Miring Tangga Tipe 5

$$= \sqrt{3000^2 + 1750^2}$$

$$= 3473 \text{ mm}$$

Panjang miring anak tangga



Gambar 4. 21 Panjang Miring Anak Tangga Tipe 5

$$AB = 175 \text{ mm}$$

$$BC = 300 \text{ mm}$$

$$AC = \sqrt{300^2 + 175^2}$$

$$= 347 \text{ mm}$$

Jumlah tahanan

$$\begin{aligned}
 n_t &= \frac{\text{tinggi tangga}}{\text{tinggi injakan}} \\
 &= \frac{3500}{175} \\
 &= 20 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Jumlah injakan

$$\begin{aligned}
 n_i &= n_t - 1 \\
 &= 20 - 1 \\
 &= 19 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Sudut kemiringan tangga

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \text{Arc tan } t/i \\
 &= \text{Arc tan } 300/175 \\
 &= 30.25^\circ \\
 &= 30^\circ
 \end{aligned}$$

Syarat sudut kemiringan tangga

$$\begin{aligned}
 25^\circ &\leq \alpha \leq 40^\circ \\
 25^\circ &\leq 30^\circ \leq 40^\circ \quad \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Tebal pelat ekuivalen

$$L\Delta 1 = L\Delta 2$$

$$\frac{1}{2} \times i \times t = \frac{1}{2} \times \sqrt{i^2 + t^2} \times d$$

$$262.5 \text{ cm}^2 = 17 \times d$$

$$d = \frac{262.5 \text{ cm}^2}{17}$$

$$d = 15.12 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{2} d = 7.56 \text{ cm}$$

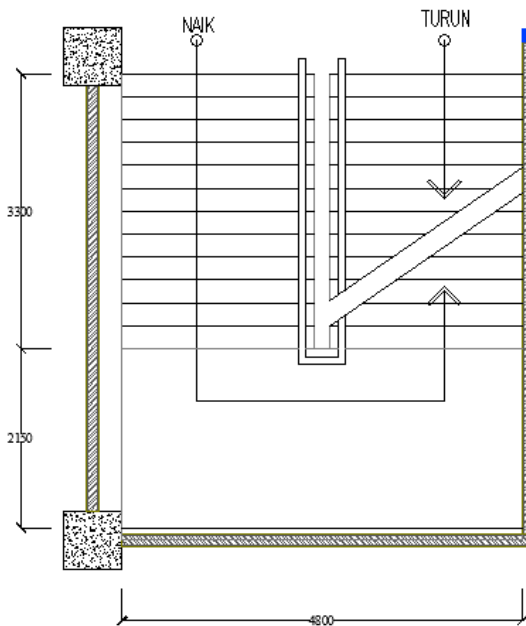
$$\begin{aligned}
 \text{Maka tebal efektif pelat tangga} &= 7.56 \text{ mm} + 150 \text{ mm} \approx \\
 &225.6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4.1.6.6 Perencanaan Dimensi Tangga Tipe 6

a. Data – data perencanaan

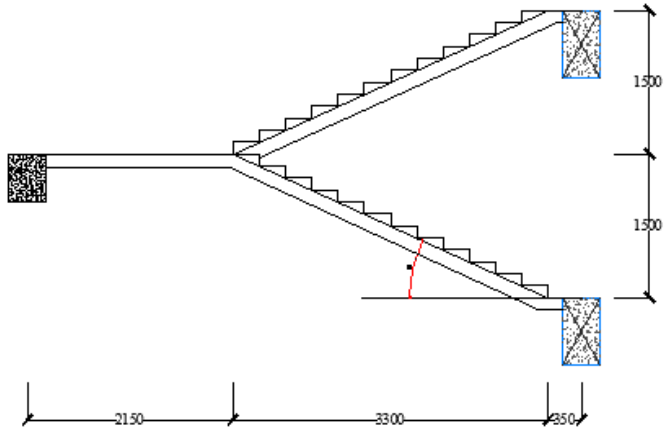
Tipe tangga	: Tipe 6
Panjang datar tangga	: 3300 mm
Tinggi tangga	: 3000 mm
Tinggi pelat bordes	: 1500 mm
Tebal pelat tangga	: 150 mm
Tebal pelat bordes	: 150 mm
Lebar injakan (i)	: 275 mm
Tinggi injakan (t)	: 125 mm

b. Gambar perencanaan



Gambar 4. 22 Perencanaan Tangga Tipe 6

c. Perhitungan perencanaan
Panjang miring tangga

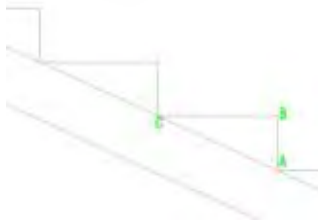


Gambar 4. 23 Panjang Miring Tangga Tipe 6

$$= \sqrt{3300^2 + 1500^2}$$

$$= 3624.91 \text{ mm}$$

Panjang miring anak tangga



Gambar 4. 24 Panjang Miring Tangga Tipe 6

$$\begin{aligned} \text{AB} &= 125 \text{ mm} \\ \text{BC} &= 275 \text{ mm} \\ \text{AC} &= \sqrt{275^2 + 125^2} \\ &= 302 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jumlah tahanan

$$\begin{aligned}
 n_t &= \frac{\text{tinggi tangga}}{\text{tinggi injakan}} \\
 &= \frac{3000}{125} \\
 &= 24 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Jumlah injakan

$$\begin{aligned}
 n_i &= n_t - 1 \\
 &= 24 - 1 \\
 &= 23 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Sudut kemiringan tangga

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \text{Arc tan } t/i \\
 &= \text{Arc tan } 275/125 \\
 &= 24.5^\circ \\
 &= 25^\circ
 \end{aligned}$$

Syarat sudut kemiringan tangga

$$\begin{aligned}
 25^\circ &\leq \alpha \leq 40^\circ \\
 25^\circ &\leq 25^\circ \leq 40^\circ \quad \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Tebal pelat ekuivalen

$$\begin{aligned}
 L\Delta 1 &= L\Delta 2 \\
 \frac{1}{2} x i x t &= \frac{1}{2} x \sqrt{i^2 + t^2} x d \\
 171.875 \text{ cm}^2 &= 64 x d \\
 d &= \frac{171.875 \text{ cm}^2}{64} \\
 d &= 11.38 \text{ cm} \\
 \frac{1}{2} d &= 5.69 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

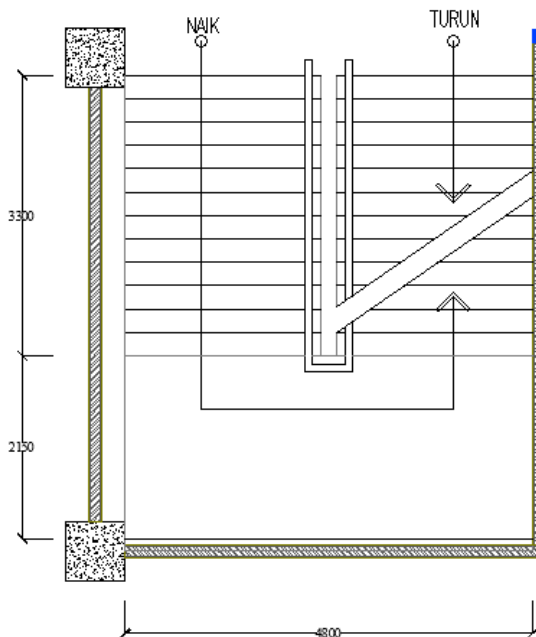
$$\begin{aligned}
 \text{Maka tebal efektif pelat tangga} &= 56.9 \text{ mm} + 150 \text{ mm} \approx \\
 &206.9 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4.1.6.7 Perencanaan Dimensi Tangga Tipe 7

a. Data – data perencanaan

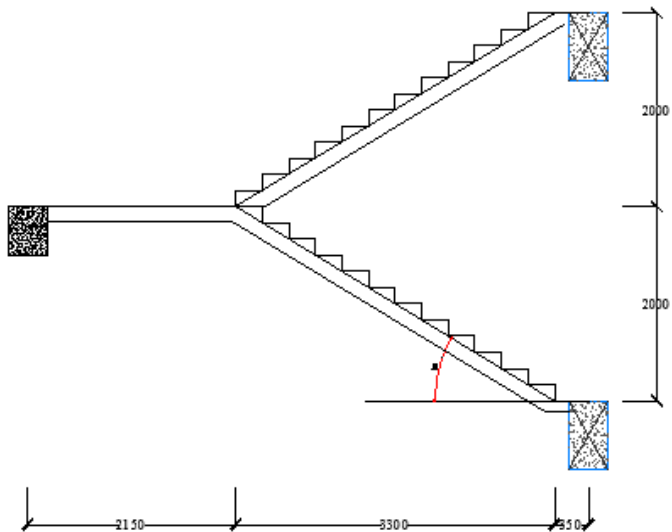
Tipe tangga	: Tipe 7
Panjang datar tangga	: 3300 mm
Tinggi tangga	: 4000 mm
Tinggi pelat bordes	: 1500 mm
Tebal pelat tangga	: 150 mm
Tebal pelat bordes	: 150 mm
Lebar injakan (i)	: 275 mm
Tinggi injakan (t)	: 167 mm

b. Gambar perencanaan



Gambar 4. 25 Perencanaan Tangga Tipe 7

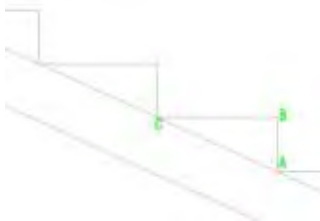
- c. Perhitungan perencanaan
Panjang miring tangga



Gambar 4. 26 Panjang Miring Tangga Tipe 7

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{3300^2 + 2000^2} \\
 &= 3859 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Panjang miring anak tangga



Gambar 4. 27 Panjang Miring Anak Tangga Tipe 7

$$\begin{aligned}
 AB &= 167 \text{ mm} \\
 BC &= 275 \text{ mm} \\
 AC &= \sqrt{275^2 + 167^2} \\
 &= 322 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jumlah tanjakan

$$\begin{aligned}
 n_t &= \frac{\text{tinggi tangga}}{\text{tinggi injakan}} \\
 &= \frac{4000}{167} \\
 &= 24 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Jumlah injakan

$$\begin{aligned}
 n_i &= n_t - 1 \\
 &= 24 - 1 \\
 &= 23 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Sudut kemiringan tangga

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \text{Arc tan } t/i \\
 &= \text{Arc tan } 275/167 \\
 &= 31.22^\circ \\
 &= 31^\circ
 \end{aligned}$$

Syarat sudut kemiringan tangga

$$\begin{aligned}
 25^\circ &\leq \alpha \leq 40^\circ \\
 25^\circ &\leq 31^\circ \leq 40^\circ \quad \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Tebal pelat ekuivalen

$$\begin{aligned}
 L\Delta 1 &= L\Delta 2 \\
 \frac{1}{2} x i x t &= \frac{1}{2} x \sqrt{i^2 + t^2} x d \\
 229.2125 \text{ cm}^2 &= 16 x d \\
 d &= \frac{229.2125 \text{ cm}^2}{16}
 \end{aligned}$$

$$d = 14.26 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{2}d = 7.13 \text{ cm}$$

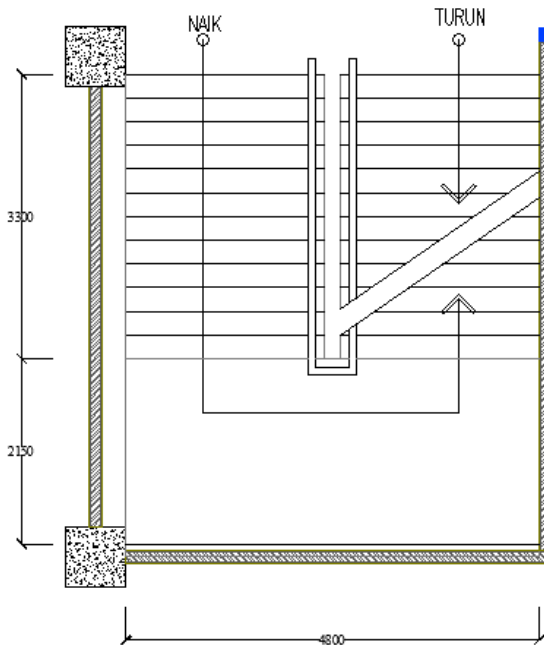
Maka tebal efektif pelat tangga = $71.3 \text{ mm} + 150 \text{ mm} \approx 221.3 \text{ mm}$

4.1.6.8 Perencanaan Dimensi Tangga Tipe 8

a. Data – data perencanaan

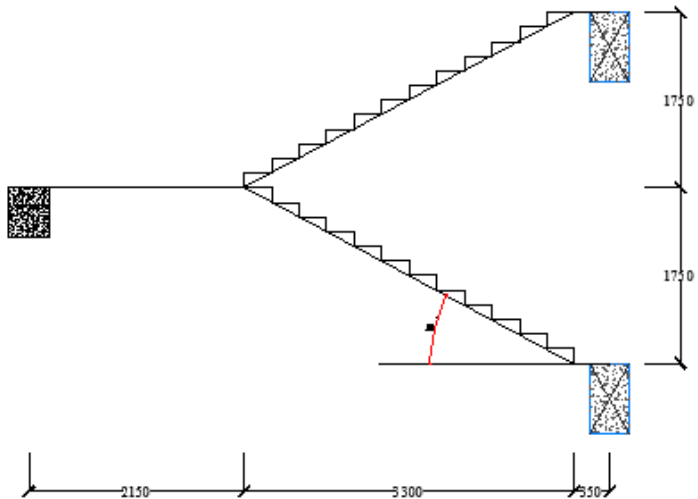
Tipe tangga	: Tipe 3
Panjang datar tangga	: 3300 mm
Tinggi tangga	: 3500 mm
Tinggi pelat bordes	: 1750 mm
Tebal pelat tangga	: 150 mm
Tebal pelat bordes	: 150 mm
Lebar injakan (i)	: 275 mm
Tinggi injakan (t)	: 146 mm

b. Gambar perencanaan



Gambar 4. 28 Perencanaan Tangga tipe 8

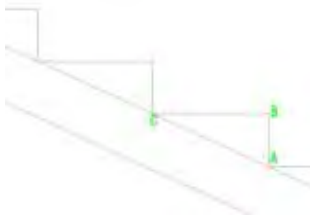
- c. Perhitungan perencanaan
Panjang miring tangga



Gambar 4. 29 Panjang Miring Tangga Tipe 8

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{3300^2 + 1750^2} \\
 &= 3375 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Panjang miring anak tangga



Gambar 4. 30 Panjang Miring Anak Tangga Tipe 8

$$\begin{aligned}
 AB &= 146 \text{ mm} \\
 BC &= 275 \text{ mm} \\
 AC &= \sqrt{275^2 + 146^2} \\
 &= 311 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jumlah tanjakan

$$\begin{aligned}
 nt &= \frac{\text{tinggi tangga}}{\text{tinggi injakan}} \\
 &= \frac{3500}{146} \\
 &= 24 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Jumlah injakan

$$\begin{aligned}
 ni &= nt - 1 \\
 &= 24 - 1 \\
 &= 23 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Sudut kemiringan tangga

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \text{Arc tan } t/i \\
 &= \text{Arc tan } 275/146 \\
 &= 27.96^\circ \\
 &= 28^\circ
 \end{aligned}$$

Syarat sudut kemiringan tangga

$$\begin{aligned}
 25^\circ &\leq \alpha \leq 40^\circ \\
 25^\circ &\leq 28^\circ \leq 40^\circ \quad \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Tebal pelat ekuivalen

$$\begin{aligned}
 L\Delta 1 &= L\Delta 2 \\
 \frac{1}{2} x i x t &= \frac{1}{2} x \sqrt{i^2 + t^2} x d \\
 200.75 \text{ cm}^2 &= 16 x d \\
 d &= \frac{222.75 \text{ cm}^2}{16}
 \end{aligned}$$

$$d = 12.9 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{2}d = 6.45 \text{ cm}$$

$$\text{Maka tebal efektif pelat tangga} = 64.5 \text{ mm} + 150 \text{ mm} \approx 214.5 \text{ mm}$$

4.2 Perhitungan Struktur

4.2.1 Pembebanan Struktur

4.2.1.1 Pembebanan Pelat

Pembebanan struktur pelat merupakan komponen struktur sekunder dengan syarat mengalami kehancuran lebih awal daripada komponen struktur primer. Dengan demikian struktur pelat pada perencanaan tidak dimasukkan dalam permodelan SAP 2000, sehingga perhitungan komponen struktur pelat lantai atau pelat atap harus direncanakan, dibebankan dan dihitung sendiri.

Pembebanan yang terdapat pada komponen struktur pelat disesuaikan dengan *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983)*. Karena struktur pelat merupakan salah satu komponen sekunder maka direncanakan hanya menerima Beban Mati (DL) dan Beban Hidup (LL) dengan menggunakan kombinasi pembebanan yang sesuai dengan **SNI 2847-2013 pasal 9.2.1** yaitu 1.2DL + 1.6LL

- Beban mati sesuai PPIUG 1983 tabel 2.1

$$\text{Berat sendiri pelat (12 cm)} = 288 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Spesi per cm tebal (1 cm)} = 21 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Keramik per cm tebal (1 cm)} = 24 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Plafond} = 11 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Penggantung} = 7 \text{ kg/m}^2$$

Perpipaan air	= 25 kg/m ²
Instalasi listrik, AC, dll	= 40 kg/m ²
q DL	= 416 kg/m ²

- Beban hidup sesuai PPIUG 1983 tabel 3.1

Beban hidup lantai sekolah	= 250 kg/m ²
Beban hidup lantai masjid	= 400 kg/m ²
Beban hidup lantai perpustakaan	= 400 kg/m ²
Beban hidup lantai amphitheater	= 400 kg/m ²
Beban hidup lantai atap	= 100 kg/m ²
Beban hujan lantai atap	= 20 kg/m ²

4.2.1.2 Pembebanan Tangga

Tidak berbeda dengan pembebanan pelat lantai ataupun pelat atap. Pada tangga, pembebanan yang terdapat pada komponen struktur disesuaikan dengan *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983)*. Karena struktur tangga merupakan salah satu komponen sekunder maka direncanakan hanya menerima Beban Mati (DL) dan Beban Hidup (LL) dengan menggunakan kombinasi pembebanan yang sesuai dengan **SNI 2847-2013 pasal 9.2.1** yaitu $1.2DL + 1.6LL$

- Berat pelat anak tangga



Beban mati sesuai PPIUG 1983 tabel 2.1

- Berat sendiri pelat (15 cm) = 360 kg/m²
- Berat anak tangga = 136.55 kg/m²
- Spesi percm tebal (1 cm) = 21 kg/m²

- Keramik per cm tebal (1 cm) = 24 kg/m²
 - Pegangan tangga (railing) = 10 kg/m²
-
- q DL = 551.55 kg/m²

✚ Beban hidup sesuai PPIUG 1983 tabel 2.1

- Beban hidup tangga = 300 kg/m²

○ Berat pelat bordes

✚ Beban mati sesuai PPIUG 1983 tabel 2.1

- Berat sendiri pelat (15 cm) = 360 kg/m²
 - Spesi percm tebal (1 cm) = 21 kg/m²
 - Keramik per cm tebal (1 cm) = 24 kg/m²
 - Pegangan tangga (railing) = 10 kg/m²
-
- q DL = kg/m²

✚ Beban hidup sesuai PPIUG 1983 tabel 2.1

- Beban hidup tangga = 300 kg/m²

4.2.1.3 Pembebanan Dinding

Komponen struktur dinding tidak dimasukkan dalam permodelan SAP 2000 sehingga dibebankan/didistribusikan pada komponen yang berada diatas sisi komponen balok. Pendistribusian beban komponen struktur dinding ke komponen balok merupakan distribusi beban tetap (beban mati)

Dikarenakan beban pada komponen dinding yaitu luasan, sedangkan beban pada komponen balok merupakan beban merata, sehingga beban harus dikonversikan ke beban balok. Pembebanan yang ada pada komponen struktur dinding

disesuaikan dengan *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983)* yaitu 250 kg/m^2

- Tinggi dinding tiap lantai
 - Lantai 1 $[H1] = 3 \text{ m}$
 - Lantai 2 $[H2] = 4 \text{ m}$
 - Lantai 2 (mezzanine) $[H3] = 3.5 \text{ m}$
 - Lantai 3 $[H4] = 3,5 \text{ m}$
 - Lantai 4 $[H5] = 3,5 \text{ m}$
 - Lantai 5 $[H6] = 3,5 \text{ m}$
 - Lantai 6 $[H7] = 3,5 \text{ m}$

- Perhitungan beban merata dinding
 - Lantai 1

$$= H1 \times 250 \text{ kg/m}^2$$

$$= 3 \text{ m} \times 250 \text{ kg/m}^2$$

$$= \mathbf{750 \text{ kg/m}^2}$$
 - Lantai 2

$$= H2 \times 250 \text{ kg/m}^2$$

$$= 4 \text{ m} \times 250 \text{ kg/m}^2$$

$$= \mathbf{1000 \text{ kg/m}^2}$$
 - Lantai 2 (mezzanine)

$$= H3 \times 250 \text{ kg/m}^2$$

$$= 3.5 \text{ m} \times 250 \text{ kg/m}^2$$

$$= \mathbf{875 \text{ kg/m}^2}$$
 - Lantai 3

$$= H4 \times 250 \text{ kg/m}^2$$

$$= 3,5 \text{ m} \times 250 \text{ kg/m}^2$$

$$= \mathbf{875 \text{ kg/m}^2}$$
 - Lantai 4

$$= H5 \times 250 \text{ kg/m}^2$$

$$= 3,5 \text{ m} \times 250 \text{ kg/m}^2$$

$$= \mathbf{875 \text{ kg/m}^2}$$
 - Lantai 5

$$= H6 \times 250 \text{ kg/m}^2$$

$$= 3,5 \text{ m} \times 250 \text{ kg/m}^2$$

$$= \mathbf{875 \text{ kg/m}^2}$$
 - Lantai 6

$$= H7 \times 250 \text{ kg/m}^2$$

$$= 3,5 \text{ m} \times 250 \text{ kg/m}^2$$

$$= \mathbf{875 \text{ kg/m}^2}$$

Catatan : Pada permodelan SAP 2000, beban dinding ditambahkan pada balok – balok tertentu, yaitu pada daerah yang terkena beban dinding atau penyekat ruangan.

4.2.1.4 Pembebanan Kolom

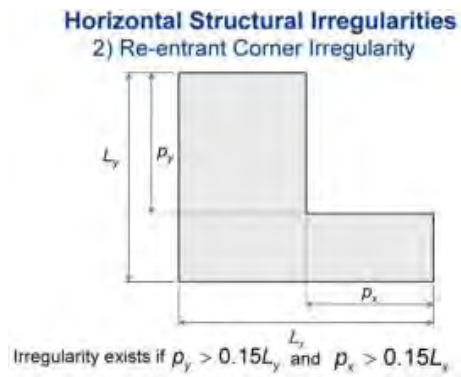
Beban pada kolom berupa beban angin secara vertikal sebesar 25 kg/m^2 dikarenakan bangunan SMP Muhammadiyah 5 Surabaya terletak jauh dari pantai. Beban angin kolom yang diinputkan pada SAP 2000 yaitu 25 kg/m^2 dikali bentang balok yang dipikul tiap kolom.

4.2.1.5 Pembebanan Gempa

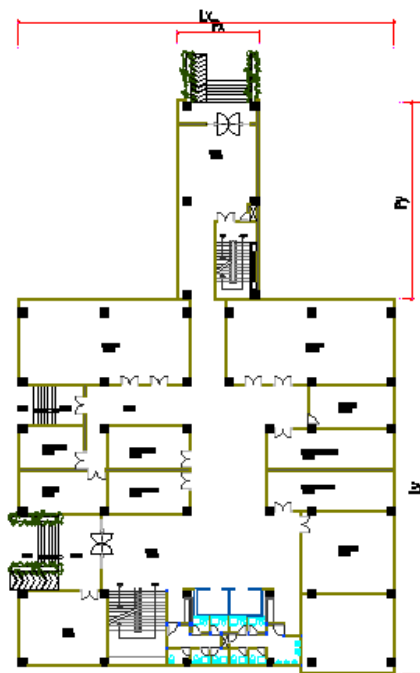
Gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya merupakan bangunan bertingkat 7 lantai. Pada perhitungan beban gempa struktur ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan untuk menentukan jenis gedung apakah termasuk gedung beraturan atau tidak beraturan dan bila sudah dikategorikan, selanjutnya dilakukan pengecekan terhadap kategori gedung tersebut.

Ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi bila suatu gedung termasuk gedung beraturan atau gedung tidak beraturan. Gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya termasuk gedung yang tidak beraturan. Hal ini dikarenakan tidak memenuhi salah satu persyaratan yang ditentukan SNI 1726-2012 pasal 7.3.2.1

Ketidakteraturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan



Gambar 4. 31 Ketidak Beraturan Sudut Dalam



Gambar 4. 32 Bangunan Tidak Beraturan Sudut Dalam

Tonjolan gedung $> 15\%$ ukuran terbesar denah gedung arah tonjolan tersebut:

$$1703 \text{ mm} > 0.15 \times 4840 \text{ mm}$$

$$1703 \text{ mm} > 726 \text{ mm}$$

Oleh karena itu struktur gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya merupakan struktur gedung tidak beraturan. Pengaruh gempa rencana terhadap struktur gedung tersebut harus ditentukan berdasarkan analisis respon dinamik 3 dimensi. Dalam pasal 7.3.1 SNI 1726-2012 ditentukan lebih lanjut bahwa perhitungan respon dinamik struktur gedung tidak beraturan dapat dilakukan dengan metode analisis ragam spectrum respon (respon spectrum).

a. Respon Spectrum Gempa Rencana

Data – data untuk keperluan input pembebanan dinamik dengan metode respon spectrum diambil seperti berikut ini, mengacu pada SNI 1726-2012.

1. Klasifikasi Situs

Jenis kategori tanah dalam pasal 5.3 SNI 1726-2012 dibedakan menjadi tanah keras, sedang, lunak, khusus. Jenis tanah pada lokasi bangunan adalah tanah keras berdasarkan perhitungan menggunakan perhitungan data SPT berikut ini:

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n \frac{di}{ni}}$$

Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Standart Penetration

Lapisan ke -	Tebal lapisan (d)	Nilai SPT (N)	di/Ni
1	6	50.5	0.1188

2	4	47.5	0.0842
3	11	53.67	0.2050
4	3	60	0.05
5	5	57.33	0.087
Σ	29	53.8	0.5452

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n \frac{di}{ni}}$$

$$\bar{N} = \frac{29}{0.5452}$$

$$\bar{N} = 53.19$$

Dengan didapatkan nilai $\bar{N} = 53.19$ maka klasifikasi tanah untuk lokasi kabupaten Sumenep berdasarkan tabel 3 pada SNI 1726-2012 termasuk pada kelas situs **SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)**

2. Faktor percepatan batuan dasar (S_s , S_1)

Parameter S_1 (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S_s (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing – masing dari respons spectral percepatan 0.2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCER, 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan decimal terhadap percepatan gravitasi. Berdasarkan gambar 2.5 dan gambar 2.6 pada Peta Hazard Indonesia 2010 didapatkan nilai S_s sebesar 0.4 dan S_1 sebesar 0.15

3. Faktor koefisien situs (F_a , F_v) dan parameter respon (S_{ms} , S_{m1})

Nilai F_d dan F_v ditentukan berdasarkan pada tabel 4 SNI 1726-2012 dengan menggunakan cara interpolasi.

$$F_a = 1.2 \text{ (dengan } S_s = 1.4)$$

$$F_v = \frac{1.7+1.6}{2} = 1.65 \text{ (} S_1 = 0.15)$$

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s = 1.2 (0.4) = 0.48$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 = 1.65 (0.15) = 0.2475$$

Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran (F_a) = 1.2

Faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v) = 1.65

Parameter spectrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) = 0.48

Parameter spectrum respons percepatan pada periode 1 detik (S_{M1}) = 0.2475

4. Parameter percepatan desain (S_{d1} , S_{ds}) sesuai SNI 1726-2012 pasal 6.3

$$S_{ds} = \frac{2}{3} S_{MS} \qquad S_{ds} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

$$S_{ds} = \frac{2}{3} 0.48 \qquad S_{ds} = \frac{2}{3} 0.248$$

$$S_{ds} = 0.3 \qquad S_{ds} = 0.165$$

Parameter percepatan spectral desain untuk periode pendek, $S_{ds} = 0.3$

Parameter percepatan spectral desain untuk periode 1 detik, $S_{d1} = 0.165$

5. Pembuatan kurva respon spectrum desain

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{d1}}{S_{ds}} \qquad T_s = \frac{S_{d1}}{S_{ds}}$$

$$T_0 = 0.2 \frac{0.165}{0.3} \qquad T_0 = \frac{0.165}{0.3}$$

$$T_0 = 0.103 \qquad T_0 = 0.515$$

- Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan S_a harus diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{ds} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right)$$

- Untuk perioda lebih besar dari atau T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spectrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{ds}
- Untuk perioda lebih besar dari T_s , spectrum respon percepatan desain S_a , diambil berdasarkan persamaan :

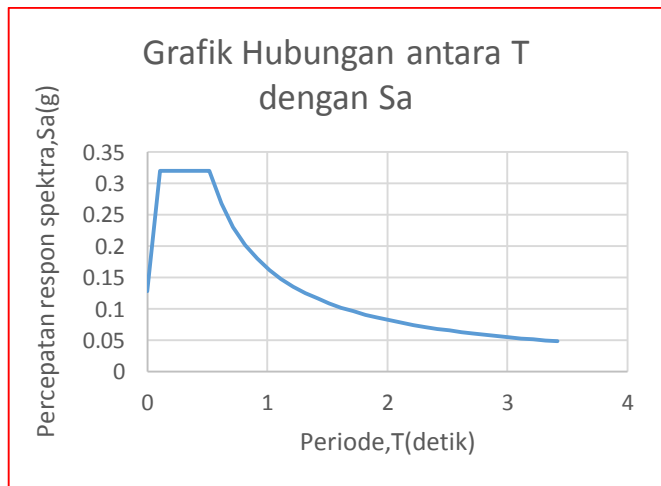
$$S_a = \frac{S_d 1}{T}$$

Tabel hubungan antara S_a dengan T :

Tabel 4. 2 Respon Spektrum Desain

T (detik)	T (detik)	S_a (g)
0	0	0.128
T_0	0.103125	0.32
T_s	0.515625	0.32
$T_s + 0.1$	0.615625	0.26802
$T_s + 0.2$	0.715625	0.230568
$T_s + 0.3$	0.815625	0.202299
$T_s + 0.4$	0.915625	0.180205
$T_s + 0.5$	1.015625	0.162462
$T_s + 0.6$	1.115625	0.147899
$T_s + 0.7$	1.215625	0.135733
$T_s + 0.8$	1.315625	0.125416
$T_s + 0.9$	1.415625	0.116556
$T_s + 1.0$	1.515625	0.108866
$T_s + 1.1$	1.615625	0.102128
$T_s + 1.2$	1.715625	0.096175
$T_s + 1.3$	1.815625	0.086134

Ts + 1.4	1.915625	0.081860
Ts + 1.5	2.015625	0.077991
Ts + 1.6	2.115625	0.074471
Ts + 1.7	2.215625	0.071255
Ts + 1.8	2.315625	0.068305
Ts + 1.9	2.415625	0.065590
Ts + 2.0	2.515625	0.063082
Ts + 2.1	2.615625	0.063082
Ts + 2.2	2.715625	0.060759
Ts + 2.3	2.815625	0.058602
Ts + 2.4	2.915625	0.056592
Ts + 2.5	3.015625	0.054715
Ts + 2.6	3.115625	0.052959
Ts + 2.7	3.215625	0.051312
Ts + 2.8	3.315625	0.049764
Ts + 2.9	3.415625	0.048307



Gambar 4. 33 Respon Spektrum periode 2500 tahun

6. Faktor Keutamaan (I)

Gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya dikategorikan sebagai gedung pendidikan sehingga berdasarkan SNI 1726-2013 tabel 2.3 termasuk kategori resiko IV dan berdasarkan tabel 2.4 didapatkan faktor keutamaan (I_e) = 1.5

7. Faktor Modifikasi Respon Struktur

Sistem yang digunakan dalam perencanaan menggunakan sistem rangka pemikul momen menengah yang memiliki nilai faktor modifikasi sebesar 5, sesuai dengan tabel 2.10 SNI 1726-2012.

8. Masa Struktur

Massa untuk struktur akan ditentukan berasal dari :

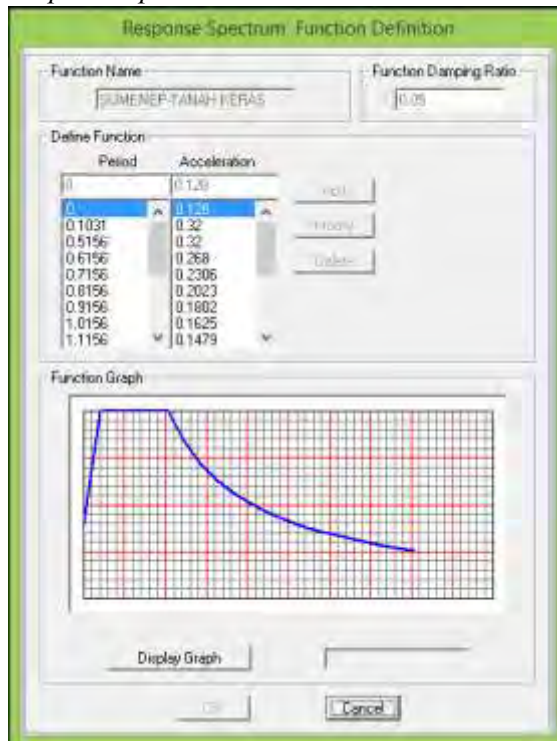
- Berat sendiri struktur (*self weight*) seperti elemen balok, kolom dan pelat.
- Beban mati tambahan (*super imposed dead load*) seperti finishing/keramik, spesi, plafond, penggantung, dinding dan lain-lain.
- Beban hidup yang dianggap tetap seperti perabotan yang besarnya bisa berkisar 30 persen. (*Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983*)

9. Parameter Respon Ragam

Sesuai dengan SNI 1726-2012 pasal 9.2.1, maka input respons spectrum diberikan nilai $I/R = 1.5/5 = 0.3$. karena input C pada respon spectrum dinyatakan gravitasi bumi (g), maka input juga akan dikalikan faktor pengali sebesar 9.81 m/s^2 . Faktor pengali = $0.3 \times 9.81 = 2.943$

b. Input Response Spectrum SAP 2000

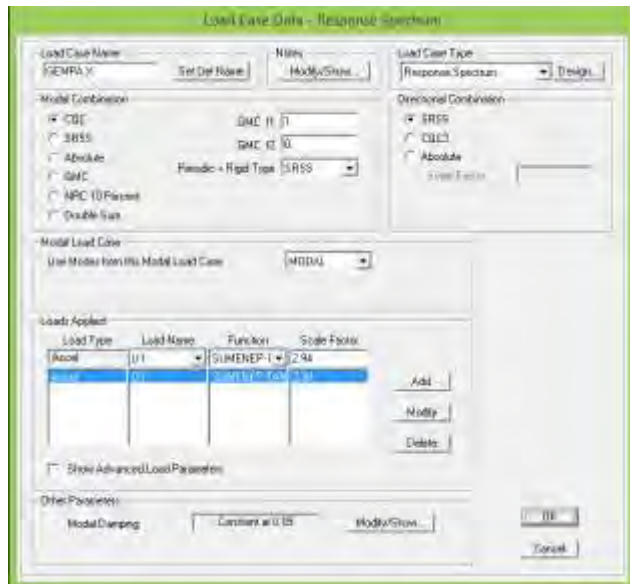
1. Input data untuk grafik respons spectrum yang berisi grafik. Dalam kurva respons spectrum terdapat bagian sisi kurva resesi yang melengkung. Karena jenis tanah keras maka menggunakan persamaan $C = \dots$
2. Maka data respons spectrum di SAP 2000. Berbeda dengan input analisa static, pada input response spectrum dimasukkan lewat *Define – function – Response Spectrum*.



Gambar 4. 34 Hasil Modifikasi Input Data Respon Spektrum

3. Definisi Tipe Analisis Response Spectrum

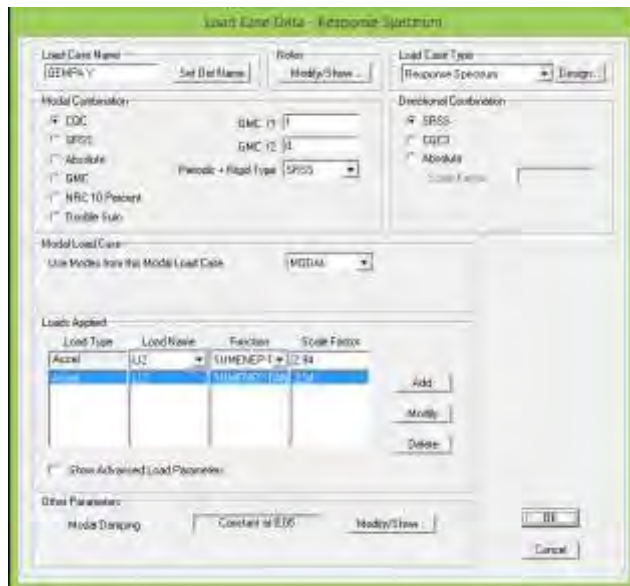
Respons spektrum telah selesai diinput lewat function, maka pembebanan pada struktur dilakukan melalui *Define – Load Case*. Pada *Load Case*, beban gempa response spectrum harus dibuat terlebih dahulu karena beban tersebut tidak akan muncul secara otomatis. Pada kolom *click to, select Add New Case*. Kemudian muncul kotak dialog seperti dibawah ini :



Gambar 4. 35 Kotak Dialog Load Case Data - Respon Spektrum

- Pada kolom *Load Case Type*, pilih *response spectrum*.
- Beri nama *Case* apa yang akan dibuat. Misal EX (gempa X)
- Pada *Load Applied* :

- Load type = accel
- Load name = U1
- Function = SNI 2012
- Scale faktor = 2.943
- Klik tombol add



Gambar 4. 36 Kotak Dialog Load Case Data - Respon Spektrum

- Klik OK
Kembali ke kotak dialog *Load Case*, pilih RsX yang telah didefinisikan sebelumnya, kemudian klik *Add Copy of Case* untuk mempercepat input pendefinisian. Berikutnya dalam kotak dialog *Load Case Data* cukup diganti :
 - Pada *Load Case Name* diganti EY (gempa Y)

- Pada kolom *Load Applied* bagian *Load Name* U1 diganti U2
- Klik *modify*
- Klik OK

4.2.2 Perhitungan Pelat

4.2.2.1 Perencanaan Pelat

Pelat / slab adalah bidang tipis yang menahan beban-beban transversal melalui aksi lentur ke masing-masing tumpuan. Dalam design, gaya-gaya pada pelat bekerja menurut aksi satu arah dan dua arah. Jika perbandingan dari bentang panjang (L_y) terhadap bentang pendek (L_x) besarnya 2 kali lebar atau lebih, maka semua beban lantai menuju balok-balok sebagian kecil akan menyalur secara langsung ke gelagar. Sehingga pelat dapat direncanakan sebagai pelat satu arah (one way slab), dengan tulangan utama yang sejajar dengan gelagar dan tulangan susut dan suhu yang sejajar dengan balok-balok. Sedangkan bila perbandingan dari bentang panjang (L_y) terhadap bentang pendek (L_x) besarnya lebih dari 2, maka seluruh beban lantai menyebabkan permukaan lendutan pelat mempunyai kelengkungan ganda. Beban lantai dipikul dalam kedua arah oleh empat balok pendukung pendukung disekelilingnya, dengan demikian, panel disebut pelat 2 arah (two way slab), dengan tulangan utama dipasang 2 arah yaitu searah sumbu x dan searah sumbu y , sedangkan tulangan susut dan suhu dipasang mengitari pelat tersebut. (Desain Beton Bertulang, oleh C.K.Wang dan C.G.Salmon Bab 16).

Pelat direncanakan menerima beban berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983) berdasarkan fungsi tiap lantai, kombinasi pembebanan yang digunakan adalah :

$$U = 1,2 DL + 1,6 LL$$

Dimana :

U = Beban ultimate pelat

DL = Beban mati pelat

LL = Beban hidup pelat

Dari buku C.K. Wang dan C.G. Salmon jilid 2 halaman 135 terdapat persyaratan mengenai perletakan pelat, yaitu:

- $\alpha m \leq 0,375$ = sebagai pelat tanpa balok tepi
- $0,375 \leq \alpha m \leq 1,875$ = sebagai pelat dengan balok tepi yang fleksibel
- $\alpha m > 1,875$ = sebagai pelat tanpa balok tepi yang kaku

Berdasarkan perencanaan tebal pelat $\alpha m = 12$ cm, maka asumsi perletakan pelat lantai dan pelat atap adalah **jepit penuh**. Dimana dalam menganalisa gaya-gaya dalam yang terjadi pada pelat menggunakan **Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBBI 1971) Pasal 13.3. Tabel 13.3.(1) halaman 202**.

Tipe Pelat	Momen	$\mu \leq 1$															
		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
I	$M_u = +0.001 \alpha l^2 / Z_n$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	$M_u = +0.001 \alpha l^2 / Z_n$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
II	$M_u = +0.001 \alpha l^2 / Z_n$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	$M_u = +0.001 \alpha l^2 / Z_n$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
III	$M_u = +0.001 \alpha l^2 / Z_n$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	$M_u = +0.001 \alpha l^2 / Z_n$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
IV	$M_u = +0.001 \alpha l^2 / Z_n$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	$M_u = +0.001 \alpha l^2 / Z_n$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
V	$M_u = +0.001 \alpha l^2 / Z_n$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	$M_u = +0.001 \alpha l^2 / Z_n$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VI	$M_u = +0.001 \alpha l^2 / Z_n$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	$M_u = +0.001 \alpha l^2 / Z_n$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VII	$M_u = +0.001 \alpha l^2 / Z_n$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	$M_u = +0.001 \alpha l^2 / Z_n$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VIII	$M_u = +0.001 \alpha l^2 / Z_n$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	$M_u = +0.001 \alpha l^2 / Z_n$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
IX	$M_u = +0.001 \alpha l^2 / Z_n$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	$M_u = +0.001 \alpha l^2 / Z_n$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Gambar 4. 37 Momen Pelat Berdasarkan PBBI 1971

Dikarenakan pelat yang direncanakan terjepit penuh oleh balok pada keempat sisinya sehingga pada Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBBI 1971) Pasal 13.3 tabel 13.3(1) pelat termasuk dalam tipe II dimana persamaan gaya dalam momen yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$M_{tx} = + 0.001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot X$$

$$M_{lx} = + 0.001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot X$$

$$M_{ty} = + 0.001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot X$$

$$M_{ty} = + 0.001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot X$$

Dimana:

M_{tx} = Momen tumpuan arah x

M_{lx} = Momen lapangan arah x

M_{ty} = Momen tumpuan arah y

M_{ly} = Momen lapangan arah y

4.2.2.1 Pembebanan Pelat

Pelat Lantai Ground

- Beban mati sesuai PPIUG 1983 tabel 2.1

Berat sendiri pelat (14 cm)	= 360 kg/m ²
-----------------------------	-------------------------

Spesi per cm tebal (1 cm)	= 21 kg/m ²
---------------------------	------------------------

q DL	= 381 kg/m ²
------	-------------------------

- Beban hidup sesuai PPIUG 1983 tabel 3.1

Beban hidup lantai sekolah	= 800 kg/m ²
----------------------------	-------------------------

- Beban Ultimate

$$U = 1.2 D + 1.6 L$$

$$= 1.2 (381 \text{ kg/m}^2) + 1.6 (800 \text{ kg/m}^2)$$

$$= 1737.2 \text{ kg/m}^2$$

Pelat Lantai 1 sampai 6

- Beban mati sesuai PPIUG 1983 tabel 2.1

Berat sendiri pelat (12 cm)	= 288 kg/m ²
-----------------------------	-------------------------

Spesi per cm tebal (1 cm)	= 21 kg/m ²
---------------------------	------------------------

Keramik per cm tebal (1 cm)	= 24 kg/m ²
-----------------------------	------------------------

Plafond	= 11 kg/m ²
Penggantung	= 7 kg/m ²
Perpipaan air	= 25 kg/m ²
Instalasi listrik, AC, dll	= 40 kg/m ²
q DL	<hr/> = 416 kg/m ²

- Beban hidup sesuai PPIUG 1983 tabel 3.1
 Beban hidup lantai sekolah = 250 kg/m²
- Beban Ultimate

$$U = 1.2 D + 1.6 L$$

$$= 1.2 (416 \text{ kg/m}^2) + 1.6 (250 \text{ kg/m}^2)$$

$$= 899.2 \text{ kg/m}^2$$

Pelat Lantai Atap

- Beban mati sesuai PPIUG 1983 tabel 2.1
 Berat sendiri pelat (12 cm) = 288 kg/m²
 Aspal (1 cm) = 14 kg/m²
 Plafond = 11 kg/m²
 Penggantung = 7 kg/m²
 Perpipaan air = 25 kg/m²
 Instalasi listrik, AC, dll = 40 kg/m²
 q DL

= 385 kg/m²

- Beban hidup sesuai PPIUG 1983 tabel 3.1
 Beban hidup lantai sekolah = 100 kg/m²
- Beban Ultimate

$$\begin{aligned}
 U &= 1.2 D + 1.6 L \\
 &= 1.2 (385 \text{ kg/m}^2) + 1.6 (100 \text{ kg/m}^2) \\
 &= 622 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

4.2.2.2 Penulangan Pelat Lantai Ground

A. Data Perencanaan

Tipe Pelat	: P1
Dimensi pelat (Lx pelat)	: 3500 mm
Dimensi pelat (Ly pelat)	: 3500 mm
Dimensi pelat (t pelat)	: 150 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 25 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 240 MPa
Selimit beton	: 20 cm

B. Perhitungan Momen

Koefisien momen untuk pelat lantai 1 untuk sekolah 3500 x 3500 adalah :

Nilai $C_{lx} = 21$

Nilai $C_{ly} = 21$

Nilai $C_{tx} = 52$

Nilai $C_{ty} = 52$

$$\begin{aligned}
 M_{lx} &= + 0.001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X \\
 &= + 0.001 \cdot 899.2 \text{ kg/m}^2 \cdot 3.50^2 \cdot 21 \\
 &= 446.8947 \text{ kgm/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{ly} &= + 0.001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X \\
 &= + 0.001 \cdot 899.2 \text{ kg/m}^2 \cdot 3.50^2 \cdot 21 \\
 &= 446.8947 \text{ kgm/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{tx} &= + 0.001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X \\
 &= + 0.001 \cdot 899.2 \text{ kg/m}^2 \cdot 3.50^2 \cdot 52 \\
 &= 1106.596 \text{ kgm/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{ty} &= + 0.001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X \\
 &= + 0.001 \cdot 899.2 \text{ kg/m}^2 \cdot 3.50^2 \cdot 52 \\
 &= 1106.596 \text{ kgm/m}
 \end{aligned}$$

C. Periksa Kemampuan Momen

Momen Lapangan arah XDirencanakan :

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$s = 250 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} dx &= t \text{ pelat} - \text{selimut} - 1/2 \times \emptyset \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 0.5 \times 12 \text{ mm} \\ &= 124 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$\text{As pakai} = 452.3893 \text{ mm}^2$$

Momen Kapasitas

$$\begin{aligned} T &= \text{As} \times f_y \\ &= 452.3893 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ Mpa} \\ &= 108573.4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{T}{0.85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{108573.4}{0.85 \times 25 \times 1000} \\ &= 5.109 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{kap}} &= T \times (d - a/2) \times \phi \\ &= 108573.4 \text{ N} \times (124 - 5.109/2) \times 0.8 \\ &= 10548590 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol Momen Kapasitas

$$M_{lx} < M_{\text{kap}}$$

$$4468947 \text{ Nmm} < 9859192 \text{ Nmm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kontrol spasi tulangan

$$S < 2h$$

$$250 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Momen Lapangan arah Y

Direncanakan :

$$\begin{aligned}
 \emptyset &= 12 \text{ mm} \\
 s &= 250 \text{ mm} \\
 dx &= t \text{ pelat} - \text{selimut} - 1/2 \times \emptyset - \emptyset \\
 &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 0.5 \times 12 \text{ mm} - 12 \text{ mm} \\
 &= 112 \text{ mm} \\
 b &= 1000 \text{ mm} \\
 \text{As pakai} &= 452.3893 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen Kapasitas

$$\begin{aligned}
 T &= \text{As} \times f_y \\
 &= 452.3893 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ Mpa} \\
 &= 108573.4 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{T}{\frac{0.85 \times f_c' \times b}{108573.4}} \\
 &= \frac{108573.4}{0.85 \times 25 \times 1000} \\
 &= 5.109 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{kap}} &= T \times (d - a/2) \times \phi \\
 &= 108573.4 \text{ N} \times (124 - 5.109/2) \times 0.8 \\
 &= 10548590 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Momen Kapasitas

$$\begin{aligned}
 M_{\text{lx}} &< M_{\text{kap}} \\
 4468947 \text{ Nmm} &< 9859192 \text{ Nmm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Kontrol spasi tulangan

$$\begin{aligned}
 S &< 2h \\
 250 \text{ mm} &< 300 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Momen Tumpuan arah XDirencanakan :

$$\begin{aligned}
 \emptyset &= 12 \text{ mm} \\
 s &= 125 \text{ mm} \\
 dx &= t \text{ pelat} - \text{selimut} - 1/2 \times \emptyset \\
 &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 0.5 \times 12 \text{ mm} \\
 &= 124 \text{ mm} \\
 b &= 1000 \text{ mm} \\
 \text{As pakai} &= 904.7787 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen Kapasitas

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \times f_y \\
 &= 904.7787 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ Mpa} \\
 &= 217146.9 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{T}{0.85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{904.7787}{0.85 \times 25 \times 1000} \\
 &= 10.21 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{kap}} &= T \times (d - a/2) \times \phi \\
 &= 217146.9 \text{ N} \times (124 - 10.21/2) \times 0.8 \\
 &= 20653389 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Momen Kapasitas

$$\begin{aligned}
 M_{lx} &< M_{\text{kap}} \\
 11065964 \text{ Nmm} &< 9859192 \text{ Nmm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Kontrol spasi tulangan

$$\begin{aligned}
 S &< 2h \\
 125 \text{ mm} &< 300 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Momen Tumpuan arah YDirencanakan :

$$\begin{aligned}
 \emptyset &= 12 \text{ mm} \\
 s &= 125 \text{ mm} \\
 dx &= t \text{ pelat} - \text{selimut} - 1/2 \times \emptyset - \emptyset \\
 &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 0.5 \times 12 \text{ mm} - 12 \text{ mm} \\
 &= 112 \text{ mm} \\
 b &= 1000 \text{ mm} \\
 \text{As pakai} &= 904.7787 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen Kapasitas

$$\begin{aligned}
 T &= \text{As} \times f_y \\
 &= 904.7787 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ Mpa} \\
 &= 217146.9 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{T}{\frac{0.85 \times f_c' \times b}{904.7787}} \\
 &= \frac{217146.9}{0.85 \times 25 \times 1000} \\
 &= 10.21 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{kap}} &= T \times (d - a/2) \times \phi \\
 &= 217146.9 \text{ N} \times (124 - 10.21/2) \times 0.8 \\
 &= 20653389 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Momen Kapasitas

$$\begin{aligned}
 M_{lx} &< M_{\text{kap}} \\
 11065964 \text{ Nmm} &< 9859192 \text{ Nmm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Kontrol spasi tulangan

$$\begin{aligned}
 S &< 2h \\
 125 \text{ mm} &< 300 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Tulangan Susut

Menurut ***SNI 03-2847-2013 Pasal 7.12.2.1***: Untuk Rasio luas tulangan susut dan suhu terhadap luas bruto penampang beton menggunakan rasio tulangan minimum (\square_{\min}) = 0.0014

$$\begin{aligned}\text{As susut} &= \square_{\text{susut}} \times b \times t \text{ pelat} \\ &= 0.0014 \times 1000 \times 150 \\ &= 210 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Direncanakan:

$$\begin{aligned}\emptyset &= 8 \text{ mm} \\ s &= 200 \text{ mm} \\ \text{As} &= 251 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol luasan tulangan

As susut perlu < As susut pakai

$$210 \text{ mm}^2 < 251 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kontrol spasi tulangan

$$S \text{ maks} < 5h = 750 \text{ mm}$$

$$S \text{ maks} < 450 \text{ mm} = 450 \text{ mm}$$

Cek spasi :

$$S \text{ maks} < 450 \text{ mm}$$

$$200 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Tulangan tersebut dipasang pada lapis atas dan bawah, masing-masing pada ujung kiri dan kanan tumpuan, baik pada arah bentang l_x maupun l_y .

Lebar lajur pemasangan tulangan susut, diukur dari muka bagian dalam balok-balok penum-pu ke arah lapangan pelat, masing-masing sebesar : $0.25 l_n$, yaitu :

- Ke arah bentang panjang

$$\begin{aligned}
 0.25 l_n &= 0.25 \times (350 \text{ cm} - 20 \text{ cm} - 15 \text{ cm}) \\
 &= 0.25 \times 315 \text{ cm} \\
 &= 78.75 \text{ cm}
 \end{aligned}$$
- Ke arah bentang pendek

$$\begin{aligned}
 0.25 l_n &= 0.25 \times (350 \text{ cm} - 20 \text{ cm} - 15 \text{ cm}) \\
 &= 0.25 \times 315 \text{ cm} \\
 &= 78.75 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

4.2.2.3 Penulangan Pelat Lantai 1

A. Data Perencanaan

Tipe Pelat	: P1
Dimensi pelat (Lx pelat)	: 3500 mm
Dimensi pelat (Ly pelat)	: 3500 mm
Dimensi pelat (t pelat)	: 120 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 25 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 240 MPa
Selimit beton	: 20 cm

B. Perhitungan Momen

Koefisien momen untuk pelat lantai 1 untuk sekolah 3500 x 3500 adalah:

Nilai $Cl_x = 21$

Nilai $Cly = 21$

Nilai $Ctx = 52$

Nilai $Cty = 52$

$$\begin{aligned}
 Mlx &= + 0.001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot X \\
 &= + 0.001 \cdot 899.2 \text{ kg/m}^2 \cdot 3.50^2 \cdot 21 \\
 &= 213.4146 \text{ kgm/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mly &= + 0.001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot X \\
 &= + 0.001 \cdot 899.2 \text{ kg/m}^2 \cdot 3.50^2 \cdot 21 \\
 &= 213.4146 \text{ kgm/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{tx} &= + 0.001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot X \\
 &= + 0.001 \cdot 899.2 \text{ kg/m}^2 \cdot 3.50^2 \cdot 52 \\
 &= 528.4552 \text{ kgm/m} \\
 M_{ty} &= + 0.001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot X \\
 &= + 0.001 \cdot 899.2 \text{ kg/m}^2 \cdot 3.50^2 \cdot 52 \\
 &= 528.4552 \text{ kgm/m}
 \end{aligned}$$

C. Periksa Kemampuan Momen

Momen Lapangan arah X

Direncanakan :

$$\begin{aligned}
 \emptyset &= 12 \text{ mm} \\
 s &= 200 \text{ mm} \\
 dx &= t \text{ pelat} - \text{selimut} - 1/2 \times \emptyset \\
 &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 0.5 \times 12 \text{ mm} \\
 &= 94 \text{ mm} \\
 b &= 1000 \text{ mm} \\
 A_s \text{ pakai} &= 565.487 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen Kapasitas

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \times f_y \\
 &= 565.487 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ Mpa} \\
 &= 135717 \text{ N} \\
 a &= \frac{T}{0.85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{135717}{0.85 \times 25 \times 1000} \\
 &= 6.38667 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{kap}} &= T \times (d - a/2) \times \phi \\
 &= 135717 \text{ N} \times (94 - 6.38667/2) \times 0.8 \\
 &= 9859192 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Momen Kapasitas

$$M_{lx} < M_{\text{kap}}$$

$$2134146 \text{ Nmm} < 9859192 \text{ Nmm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kontrol spasi tulangan

$$S < 2h$$

$$200 \text{ mm} < 240 \text{ mm}$$

→ Memenuhi

Momen Lapangan arah YDirencanakan :

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$s = 200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} dx &= t \text{ pelat} - \text{selimut} - 1/2 \times \emptyset - \emptyset \\ &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 0.5 \times 12 \text{ mm} - 12 \text{ mm} \\ &= 82 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ pakai} = 565.487 \text{ mm}^2$$

Momen Kapasitas

$$\begin{aligned} T &= A_s \times f_y \\ &= 565.487 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ Mpa} \\ &= 135717 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{T}{0.85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{135717}{0.85 \times 25 \times 1000} \\ &= 6.38667 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{kap}} &= T \times (d - a/2) \times \phi \\ &= 135717 \text{ N} \times (82 - 6.38667/2) \times 0.8 \\ &= 8556311 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol Momen Kapasitas

$$M_{ly} < M_{\text{kap}}$$

$$2134146 \text{ Nmm} < 8556311 \text{ Nmm}$$

→ Memenuhi

Kontrol spasi tulangan

$$S < 2h$$

$$200 \text{ mm} < 240 \text{ mm}$$

→ Memenuhi

Momen Tumpuan arah XDirencanakan :

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$s = 200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} dx &= t \text{ pelat} - \text{selimut} - 1/2 \times \emptyset \\ &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 0.5 \times 12 \text{ mm} \\ &= 84 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$\text{As pakai} = 565.487 \text{ mm}^2$$

Momen Kapasitas

$$\begin{aligned} T &= \text{As} \times f_y \\ &= 565.487 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ Mpa} \\ &= 135717 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{T}{0.85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{135717}{0.85 \times 25 \times 1000} \\ &= 6.38667 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{kap}} &= T \times (d - a/2) \times \phi \\ &= 135717 \text{ N} \times (94 - 6.38667/2) \times 0.8 \\ &= 9859192 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol Momen Kapasitas

$$M_lx < M_{\text{kap}}$$

$$5284552 \text{ Nmm} < 9859192 \text{ Nmm}$$

→ Memenuhi

Kontrol spasi tulangan

$$S < 2h$$

$$200 \text{ mm} < 240 \text{ mm}$$

→ Memenuhi

Momen Tumpuan arah YDirencanakan :

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$s = 200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} dx &= t \text{ pelat} - \text{selimut} - 1/2 \times \emptyset - \emptyset \\ &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 0.5 \times 12 \text{ mm} - 12 \text{ mm} \\ &= 82 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ pakai} = 565.487 \text{ mm}^2$$

Momen Kapasitas

$$\begin{aligned} T &= A_s \times f_y \\ &= 565.487 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ Mpa} \\ &= 135717 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{T}{0.85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{135717}{0.85 \times 25 \times 1000} \\ &= 6.38667 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{kap}} &= T \times (d - a/2) \times \phi \\ &= 135717 \text{ N} \times (82 - 6.38667/2) \times 0.8 \\ &= 8556311 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol Momen Kapasitas

$$M_{ty} < M_{\text{kap}}$$

$$5284552 \text{ Nmm} < 8556311 \text{ Nmm}$$

→ Memenuhi

Kontrol spasi tulangan

$$S < 2h$$

$$200 \text{ mm} < 240 \text{ mm}$$

→ Memenuhi

Tulangan Susut

Menurut ***SNI 03-2847-2013 Pasal 7.12.2.1*** : Untuk Rasio luas tulangan susut dan suhu terhadap luas bruto penampang beton menggunakan rasio tulangan minimum (ρ_{\min}) = 0.0014

$$\begin{aligned} \text{As susut} &= \rho_{\text{susut}} \times b \times t \text{ pelat} \\ &= 0.0014 \times 1000 \times 120 \\ &= 168 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan:

$$\emptyset = 8 \text{ mm}$$

$$s = 200 \text{ mm}$$

$$\text{As} = 251 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

As susut perlu < As susut pakai

$$168 \text{ mm}^2 < 251 \text{ mm}^2$$

→ Memenuhi

Syarat spasi tulangan

$$S_{\text{maks}} < 5h = 750 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} < 450 \text{ mm} = 450 \text{ mm}$$

Kontrol spasi tulangan

$$S_{\text{maks}} < 450 \text{ mm}$$

$$200 \text{ mm} < 450 \text{ mm}$$

→ Memenuhi

Tulangan tersebut dipasang pada lapis atas dan bawah, masing-masing pada ujung kiri dan kanan tumpuan, baik pada arah bentang l_x maupun l_y .

Lebar lajur pemasangan tulangan susut, diukur dari muka bagian dalam balok-balok penum-pu ke arah lapangan pelat, masing-masing sebesar : $0.25 l_n$, yaitu :

- Ke arah bentang panjang

$$\begin{aligned} 0.25 l_n &= 0.25 \times (350 \text{ cm} - 20 \text{ cm} - 15 \text{ cm}) \\ &= 0.25 \times 315 \text{ cm} \\ &= 78.75 \text{ cm} \end{aligned}$$
- Ke arah bentang pendek

$$\begin{aligned} 0.25 l_n &= 0.25 \times (350 \text{ cm} - 20 \text{ cm} - 15 \text{ cm}) \\ &= 0.25 \times 315 \text{ cm} \\ &= 78.75 \text{ cm} \end{aligned}$$

4.2.2.4 Penulangan Pelat Lantai Atap

A. Data Perencanaan

Tipe pelat	: P1
Dimensi pelat (L_x pelat)	: 3500 mm
Dimensi pelat (L_y pelat)	: 3500 mm
Dimensi pelat (t pelat)	: 120 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 25 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 240 MPa
Selimit beton	: 20 cm

B. Perhitungan Momen

Koefisien momen untuk pelat lantai 1 untuk sekolah 3500 x 3500 adalah :

Nilai $C_{lx} = 21$

Nilai $C_{ly} = 21$

Nilai $C_{tx} = 52$

Nilai $C_{ty} = 52$

$$\begin{aligned}
 M_{lx} &= + 0.001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot X \\
 &= + 0.001 \cdot 622 \text{ kg/m}^2 \cdot 3.50^2 \cdot 21 \\
 &= 160.0095 \text{ kgm/m} \\
 M_{ly} &= + 0.001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot X \\
 &= + 0.001 \cdot 622 \text{ kg/m}^2 \cdot 3.50^2 \cdot 21 \\
 &= 160.0095 \text{ kgm/m} \\
 M_{tx} &= + 0.001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot X \\
 &= + 0.001 \cdot 622 \text{ kg/m}^2 \cdot 3.50^2 \cdot 52 \\
 &= 396.214 \text{ kgm/m} \\
 M_{ty} &= + 0.001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot X \\
 &= + 0.001 \cdot 622 \text{ kg/m}^2 \cdot 3.50^2 \cdot 52 \\
 &= 396.214 \text{ kgm/m}
 \end{aligned}$$

C. Periksa Kemampuan Momen

Momen Lapangan arah X

Direncanakan :

$$\begin{aligned}
 \emptyset &= 12 \text{ mm} \\
 s &= 200 \text{ mm} \\
 dx &= t \text{ pelat} - \text{selimut} - 1/2 \times \emptyset \\
 &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 0.5 \times 12 \text{ mm} \\
 &= 94 \text{ mm} \\
 b &= 1000 \text{ mm} \\
 \text{As pakai} &= 565.487 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen Kapasitas

$$\begin{aligned}
 T &= As \times f_y \\
 &= 565.487 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ Mpa} \\
 &= 135717 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{T}{0.85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{135717}{0.85 \times 25 \times 1000} \\
 &= 6.38667 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{kap}} &= T \times (d - a/2) \times \phi \\
 &= 135717 \text{ N} \times (94 - 6.38667/2) \times 0.8 \\
 &= 9859192 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Momen Kapasitas

$$M_{\text{lx}} < M_{\text{kap}}$$

$$1600095 \text{ Nmm} < 9859192 \text{ Nmm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kontrol spasi tulangan

$$S < 2h$$

$$200 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Momen Lapangan arah Y

Direncanakan :

$$\begin{aligned}
 \emptyset &= 12 \text{ mm} \\
 s &= 200 \text{ mm} \\
 dx &= t_{\text{pelat}} - \text{selimut} - 1/2 \times \emptyset - \emptyset \\
 &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 0.5 \times 12 \text{ mm} - 12 \text{ mm} \\
 &= 82 \text{ mm} \\
 b &= 1000 \text{ mm} \\
 A_s \text{ pakai} &= 565.487 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen Kapasitas

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \times f_y \\
 &= 565.487 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ Mpa} \\
 &= 135717 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{T}{0.85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{135717}{0.85 \times 25 \times 1000} \\
 &= 6.38667 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{kap}} &= T \times (d - a/2) \times \phi \\
 &= 135717 \text{ N} \times (82 - 6.38667/2) \times 0.8 \\
 &= 8556311 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Momen Kapasitas

$$M_{ly} < M_{kap}$$

$$1600095 \text{ Nmm} < 8556311 \text{ Nmm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kontrol spasi tulangan

$$S < 2h$$

$$200 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Momen Tumpuan arah XDirencanakan :

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$s = 200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} dx &= t \text{ pelat} - \text{selimut} - 1/2 \times \emptyset \\ &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 0.5 \times 12 \text{ mm} \\ &= 84 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ pakai} = 565.487 \text{ mm}^2$$

Momen Kapasitas

$$\begin{aligned} T &= A_s \times f_y \\ &= 565.487 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ Mpa} \\ &= 135717 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{T}{0.85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{135717}{0.85 \times 25 \times 1000} \\ &= 6.38667 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{kap} &= T \times (d - a/2) \times \phi \\ &= 135717 \text{ N} \times (94 - 6.38667/2) \times 0.8 \\ &= 9859192 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol Momen Kapasitas

$$M_l < M_{kap}$$

$$3962140 \text{ Nmm} < 9859192 \text{ Nmm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kontrol spasi tulangan

$$S < 2h$$

$$200 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Momen Tumpuan arah YDirencanakan :

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$s = 200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} dx &= t_{\text{pelat}} - \text{selimut} - 1/2 \times \emptyset - \emptyset \\ &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 0.5 \times 12 \text{ mm} - 12 \text{ mm} \\ &= 82 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ pakai} = 565.487 \text{ mm}^2$$

Momen Kapasitas

$$\begin{aligned} T &= A_s \times f_y \\ &= 565.487 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ Mpa} \\ &= 135717 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{T}{0.85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{135717}{0.85 \times 25 \times 1000} \\ &= 6.38667 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{kap} &= T \times (d - a/2) \times \phi \\ &= 135717 \text{ N} \times (82 - 6.38667/2) \times 0.8 \\ &= 8556311 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol Momen Kapasitas

$$M_{ty} < M_{kap}$$

$$3962140 \text{ Nmm} < 8556311 \text{ Nmm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kontrol spasi tulangan

$$S < 2h$$

$$200 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Tulangan Susut

Menurut ***SNI 03-2847-2013 Pasal 7.12.2.1*** : Untuk Rasio luas tulangan susut dan suhu terhadap luas bruto penampang beton menggunakan rasio tulangan

$$\text{minimum } (\square_{\min}) = 0.0014$$

$$\begin{aligned} \text{As susut} &= \square_{\text{susut}} \times b \times t \text{ pelat} \\ &= 0.0014 \times 1000 \times 120 \\ &= 168 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan:

$$\emptyset = 8 \text{ mm}$$

$$s = 200 \text{ mm}$$

$$\text{As} = 251 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

As susut perlu < As susut pakai

$$168 \text{ mm}^2 < 251 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Syarat spasi tulangan

$$S_{\text{maks}} < 5h = 750 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} < 450 \text{ mm} = 450 \text{ mm}$$

Kontrol spasi tulangan

$$S_{\text{maks}} < 450 \text{ mm}$$

$$200 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Tulangan tersebut dipasang pada lapis atas dan bawah, masing-masing pada ujung kiri dan kanan tumpuan, baik pada arah bentang l_x maupun l_y .

Lebar lajur pemasangan tulangan susut, diukur dari muka bagian dalam balok-balok penumpu ke arah lapangan pelat, masing-masing sebesar: $0.25 l_n$, yaitu :

- Ke arah bentang panjang

$$\begin{aligned}
 0.25 l_n &= 0.25 \times (350 \text{ cm} - 20 \text{ cm} - 15 \text{ cm}) \\
 &= 0.25 \times 315 \text{ cm} \\
 &= 78.75 \text{ cm}
 \end{aligned}$$
- Ke arah bentang pendek

$$\begin{aligned}
 0.25 l_n &= 0.25 \times (350 \text{ cm} - 20 \text{ cm} - 15 \text{ cm}) \\
 &= 0.25 \times 315 \text{ cm} \\
 &= 78.75 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

4.2.3 Perhitungan Tangga

4.2.3.1 Perencanaan Tangga

Perencanaan struktur tangga dapat mengambil beberapa macam alternatif, baik itu konstruksi maupun perletakkannya.

Dalam perencanaan ini tangga diasumsikan sebagai frame 2 dimensi, yang kemudian dianalisa untuk menentukan gaya – gaya dalamnya dengan perencanaan struktur statis tak tentu. Perletakan dapat diasumsikan sebagai sendi – sendi, sendi – jepit, sendi – rol.

Tangga Gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya ini akan dimodelkan sebagai frame statis tak tentu (penyelesaian dengan cara cross) dengan kondisi perletakan berupa sendi (diletakan pada ujung bordes) dan jepit (diletakkan pada ujung sloof atau balok induk). Berikut akan dibahas perencanaan dimensi tangga tipe 1 As (D – E ; 2 – 3).

4.2.3.2 Pembebanan Tangga

- Berat pelat anak tangga

✚ Beban mati sesuai PPIUG 1983 tabel 2.1

• Berat sendiri pelat (15 cm)	= 360 kg/m ²
• Berat anak tangga	= 136.55 kg/m ²
• Spesi percm tebal (1 cm)	= 21 kg/m ²
• Keramik per cm tebal (1 cm)	= 24 kg/m ²
• Pegangan tangga (railing)	= 10 kg/m ²
	<hr/>
q DL	= 551.55 kg/m ²

✚ Beban hidup sesuai PPIUG 1983 tabel 2.1

• Beban hidup tangga	= 300 kg/m ²
----------------------	-------------------------

✚ Beban Ultimate

$$U = 1.2D + 1.6L$$

$$= 1.2 (551.55 \text{ kg/m}^2) + 1.6 (300 \text{ kg/m}^2)$$

$$= 1141.866 \text{ kg/m}^2$$

- Berat pelat bordes

✚ Beban mati sesuai PPIUG 1983 tabel 2.1

- Berat sendiri pelat (15 cm) = 360 kg/m²
- Spesi percm tebal (1 cm) = 21 kg/m²
- Keramik per cm tebal (1 cm) = 24 kg/m²
- Pegangan tangga (railing) = 10 kg/m²

$$q \text{ DL} = 415 \text{ kg/m}^2$$

✚ Beban hidup sesuai PPIUG 1983 tabel 2.1

- Beban hidup tangga = 300 kg/m²

✚ Beban Ultimate

$$U = 1.2D + 1.6L$$

$$= 1.2 (415 \text{ kg/m}^2) + 1.6 (300 \text{ kg/m}^2)$$

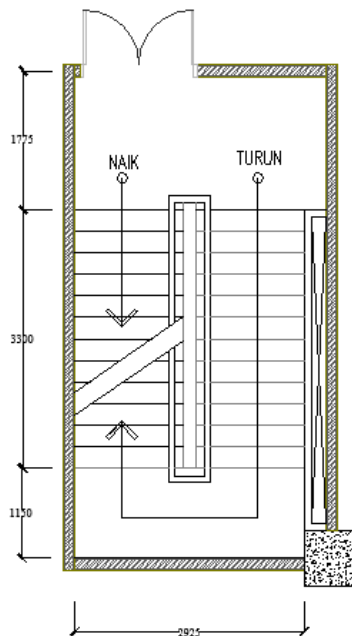
$$= 978 \text{ kg/m}^2$$

4.2.3.3 Penulangan Tangga

A. Data Perencanaan

Tipe tangga	: Tipe 1
Panjang datar tangga	: 3300 mm
Tinggi tangga	: 3000 mm
Tinggi pelat bordes	: 1500 mm
Tebal pelat tangga	: 150 mm
Tebal pelat bordes	: 150 mm
Lebar injakan (i)	: 275 mm
Tinggi injakan (t)	: 125 mm
Selimut beton	: 20 mm

B. Gambar Perencanaan



Gambar 4. 38 Tangga Tipe 1

C. Perhitungan Penulangan Bordes

Berdasarkan hasil output momen pada SAP diperoleh momen sebesar:

$$M_x = 57980000 \text{ Nmm}$$

$$M_y = 28330000 \text{ Nmm}$$

Momen Lapangan arah X

Direncanakan :

$$\emptyset = 16 \text{ mm}$$

$$s = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} dx &= t \text{ pelat} - \text{selimut} - 1/2 \times \emptyset \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 0.5 \times 16 \text{ mm} \\ &= 112 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ pakai} = 2010.619 \text{ mm}^2$$

Momen Kapasitas

$$\begin{aligned} T &= A_s \times f_y \\ &= 2010.619 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \\ &= 804247.7 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{T}{0.85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{804247.7}{0.85 \times 25 \times 1000} \\ &= 37.846 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{kap}} &= T \times (d - a/2) \times \phi \\ &= 804247.7 \text{ N} \times (112 - 37.846/2) \times 0.8 \\ &= 59885266 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol Momen Kapasitas

$$M_lx < M_{\text{kap}}$$

$$57980000 \text{ Nmm} < 59885266 \text{ Nmm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kontrol spasi tulangan

$$S < 2h$$

$$100 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$$

→ Memenuhi

Momen Lapangan arah YDirencanakan :

$$\emptyset = 13 \text{ mm}$$

$$s = 125 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} dx &= t \text{ pelat} - \text{selimut} - 1/2 \times \emptyset - \emptyset \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 0.5 \times 13 \text{ mm} - 16 \text{ mm} \\ &= 97.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ pakai} = 1061.858 \text{ mm}^2$$

Momen Kapasitas

$$\begin{aligned} T &= A_s \times f_y \\ &= 1061.858 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \\ &= 424743.3 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{T}{0.85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{424743.3}{0.85 \times 25 \times 1000} \\ &= 19.988 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{kap}} &= T \times (d - a/2) \times \phi \\ &= 424743.3 \text{ N} \times (97.5 - 19.988/2) \times 0.8 \\ &= 29734085 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol Momen Kapasitas

$$M_{ly} < M_{\text{kap}}$$

$$424743.3 \text{ Nmm} < 29734085 \text{ Nmm}$$

→ Memenuhi

Kontrol spasi tulangan

$$S < 2h$$

$$125 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$$

→ Memenuhi

Momen Tumpuan arah XDirencanakan :

$$\begin{aligned}
 \emptyset &= 16 \text{ mm} \\
 s &= 100 \text{ mm} \\
 dx &= t \text{ pelat} - \text{selimut} - 1/2 \times \emptyset \\
 &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 0.5 \times 16 \text{ mm} \\
 &= 112 \text{ mm} \\
 b &= 1000 \text{ mm} \\
 \text{As pakai} &= 2010.619 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen Kapasitas

$$\begin{aligned}
 T &= \text{As} \times f_y \\
 &= 2010.619 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \\
 &= 804247.7 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{T}{0.85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{804247.7}{0.85 \times 25 \times 1000} \\
 &= 37.846 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{kap}} &= T \times (d - a/2) \times \phi \\
 &= 804247.7 \text{ N} \times (112 - 37.846/2) \times 0.8 \\
 &= 59885266 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Momen Kapasitas

$$M_{lx} < M_{\text{kap}}$$

$$57980000 \text{ Nmm} < 59885266 \text{ Nmm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kontrol spasi tulangan

$$S < 2h$$

$$100 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Momen Tumpuan arah YDirencanakan :

$$\begin{aligned}
 \emptyset &= 13 \text{ mm} \\
 s &= 125 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 dx &= t \text{ pelat} - \text{selimut} - 1/2 \times \emptyset - \emptyset \\
 &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 0.5 \times 13 \text{ mm} - 16 \text{ mm} \\
 &= 97.5 \text{ mm} \\
 b &= 1000 \text{ mm} \\
 A_s \text{ pakai} &= 1061.858 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen Kapasitas

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \times f_y \\
 &= 1061.858 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \\
 &= 424743.3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{T}{0.85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{424743.3}{0.85 \times 25 \times 1000} \\
 &= 19.988 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{kap}} &= T \times (d - a/2) \times \phi \\
 &= 424743.3 \text{ N} \times (97.5 - 19.988/2) \times 0.8 \\
 &= 29734085 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Momen Kapasitas

$$\begin{aligned}
 M_{ly} &< M_{\text{kap}} \\
 424743.3 \text{ Nmm} &< 29734085 \text{ Nmm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Kontrol spasi tulangan

$$\begin{aligned}
 S &< 2h \\
 125 \text{ mm} &< 300 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Tulangan Susut

Menurut ***SNI 03-2847-2013 Pasal 7.12.2.1*** : Untuk Rasio luas tulangan susut dan suhu terhadap luas bruto penampang beton menggunakan rasio tulangan minimum (\square_{\min}) = 0.0014

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ susut} &= \square_{\text{susut}} \times b \times t \text{ pelat} \\
 &= 0.0014 \times 1000 \times 150 \\
 &= 210 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan:

$$\emptyset = 8 \text{ mm}$$

$$s = 200 \text{ mm}$$

$$A_s = 251 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

As susut perlu < As susut pakai

$$210 \text{ mm}^2 < 251 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Syarat spasi tulangan:

$$S_{\text{maks}} < 5h = 750 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} < 450 \text{ mm} = 450 \text{ mm}$$

Kontrol spasi tulangan:

$$S_{\text{maks}} < 450 \text{ mm}$$

$$200 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

D. Perhitungan Penulangan Tangga

Berdasarkan hasil output momen pada SAP diperoleh momen sebesar:

$$M_x = 21650000 \text{ Nmm}$$

$$M_y = 26070000 \text{ Nmm}$$

Momen Lapangan arah X

Direncanakan :

$$\emptyset = 14 \text{ mm}$$

$$s = 125 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} dx &= t \text{ pelat} - \text{selimut} - 1/2 \times \emptyset \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 0.5 \times 14 \text{ mm} \\ &= 123 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ pakai} = 1231.504 \text{ mm}^2$$

Momen Kapasitas

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \times f_y \\
 &= 1231.504 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ Mpa} \\
 &= 295561 \text{ N} \\
 a &= \frac{T}{0.85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{295561}{0.85 \times 25 \times 1000} \\
 &= 13.908 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{kap}} &= T \times (d - a/2) \times \phi \\
 &= 295561 \text{ N} \times (123 - 13.908/2) \times 0.8 \\
 &= 27438852 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Momen Kapasitas

$$\begin{aligned}
 M_{\text{lx}} &< M_{\text{kap}} \\
 21650000 \text{ Nmm} &< 27438852 \text{ Nmm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Kontrol spasi tulangan

$$\begin{aligned}
 S &< 2h \\
 125 \text{ mm} &< 300 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Momen Lapangan arah YDirencanakan :

$$\begin{aligned}
 \emptyset &= 16 \text{ mm} \\
 s &= 125 \text{ mm} \\
 dx &= t_{\text{pelat}} - \text{selimut} - 1/2 \times \emptyset - \emptyset \\
 &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 0.5 \times 16 \text{ mm} - 14 \text{ mm} \\
 &= 108 \text{ mm} \\
 b &= 1000 \text{ mm} \\
 A_s \text{ pakai} &= 1608.495 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen Kapasitas

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \times f_y \\
 &= 1608.495 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ Mpa} \\
 &= 386038.9 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{T}{\frac{0.85 \times f_c' \times b}{380638.9}} \\
 &= \frac{0.85 \times 25 \times 1000}{380638.9} \\
 &= 18.166 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{kap}} &= T \times (d - a/2) \times \phi \\
 &= 380638.9 \text{ N} \times (108 - 18.166/2) \times 0.8 \\
 &= 30548565 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Momen Kapasitas

$$M_{ly} < M_{\text{kap}}$$

$$26070000 \text{ Nmm} < 30548565 \text{ Nmm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kontrol spasi tulangan

$$S < 2h$$

$$125 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Momen Tumpuan arah X

Direncanakan :

$$\begin{aligned}
 \emptyset &= 14 \text{ mm} \\
 s &= 125 \text{ mm} \\
 dx &= t_{\text{pelat}} - \text{selimut} - 1/2 \times \emptyset \\
 &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 0.5 \times 14 \text{ mm} \\
 &= 123 \text{ mm} \\
 b &= 1000 \text{ mm} \\
 A_s \text{ pakai} &= 1231.504 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen Kapasitas

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \times f_y \\
 &= 1231.504 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ Mpa} \\
 &= 295561 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{T}{\frac{0.85 \times f_c' \times b}{295561}} \\
 &= \frac{0.85 \times 25 \times 1000}{295561} \\
 &= 13.908 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{kap}} &= T \times (d - a/2) \times \phi \\
 &= 295561 \text{ N} \times (123 - 13.908/2) \times 0.8 \\
 &= 27438852 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Momen Kapasitas

$$M_{\text{lx}} < M_{\text{kap}}$$

$$21650000 \text{ Nmm} < 27438852 \text{ Nmm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kontrol spasi tulangan

$$S < 2h$$

$$125 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Momen Tumpuan arah Y

Direncanakan :

$$\begin{aligned}
 \emptyset &= 16 \text{ mm} \\
 s &= 125 \text{ mm} \\
 dx &= t_{\text{pelat}} - \text{selimut} - 1/2 \times \emptyset - \emptyset \\
 &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 0.5 \times 16 \text{ mm} - 14 \text{ mm} \\
 &= 108 \text{ mm} \\
 b &= 1000 \text{ mm} \\
 A_s \text{ pakai} &= 1608.495 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen Kapasitas

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \times f_y \\
 &= 1608.495 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ Mpa} \\
 &= 386038.9 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{T}{0.85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{386038.9}{0.85 \times 25 \times 1000} \\
 &= 18.166 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{kap}} &= T \times (d - a/2) \times \phi \\
 &= 386038.9 \text{ N} \times (108 - 18.166/2) \times 0.8 \\
 &= 30548565 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Momen Kapasitas

$$M_{ly} < M_{kap}$$

$$26070000 \text{ Nmm} < 30548565 \text{ Nmm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kontrol spasi tulangan

$$S < 2h$$

$$125 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Tulangan Susut

Menurut ***SNI 03-2847-2013 Pasal 7.12.2.1*** : Untuk Rasio luas tulangan susut dan suhu terhadap luas bruto penampang beton menggunakan rasio tulangan minimum (\square_{\min}) = 0.0014

$$\begin{aligned} \text{As susut} &= \square_{\text{susut}} \times b \times t_{\text{pelat}} \\ &= 0.0014 \times 1000 \times 150 \\ &= 210 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan:

$$\emptyset = 8 \text{ mm}$$

$$s = 200 \text{ mm}$$

$$\text{As} = 251 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

As susut perlu < As susut pakai

$$210 \text{ mm}^2 < 251 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Syarat spasi tulangan:

$$S_{\text{maks}} < 5h = 750 \text{ mm}$$

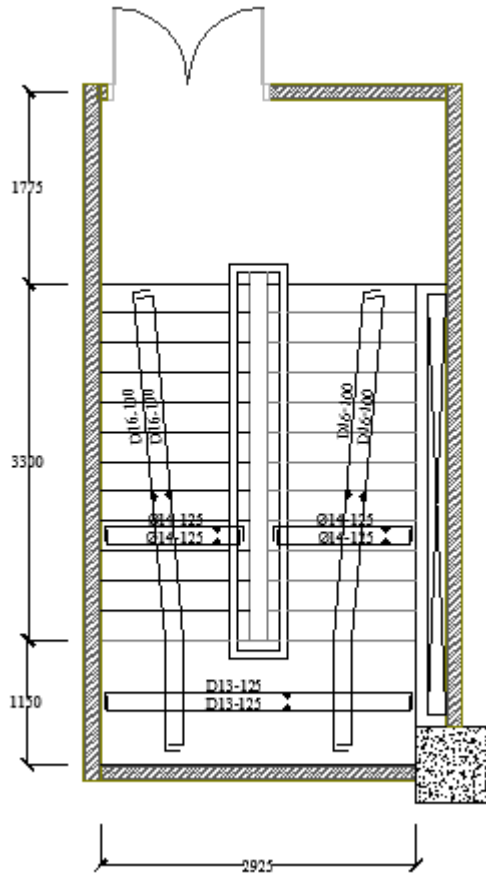
$$S_{\text{maks}} < 450 \text{ mm} = 450 \text{ mm}$$

Kontrol spasi tulangan:

$$S_{\text{maks}} < 450 \text{ mm}$$

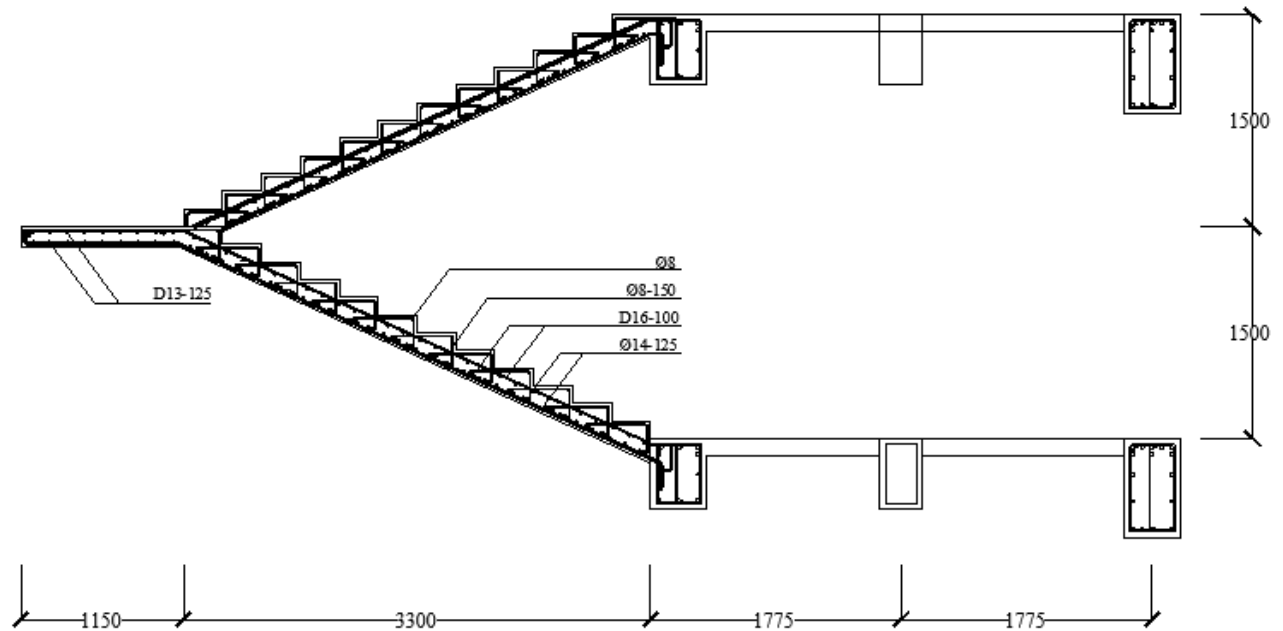
$$200 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Gambar Penulangan Tangga Tampak Atas



Gambar 4. 39 Penulangan Tangga Tampak Atas

Gambar Penulangan Tangga Tampak Samping



[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1)]

Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) : 0,75

[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]

Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ) : 0,75

[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]

d = h balok – selimut $-1/2 \times \emptyset$ sengkang
 = 700 mm - 40 mm – 0.5×12 mm
 = 640 mm

d'' = selimut + \emptyset sengkang + $1/2 \times D$ lentur
 = 40 mm + 12 mm + 0.5×22 mm
 = 60 mm

B. Hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok.

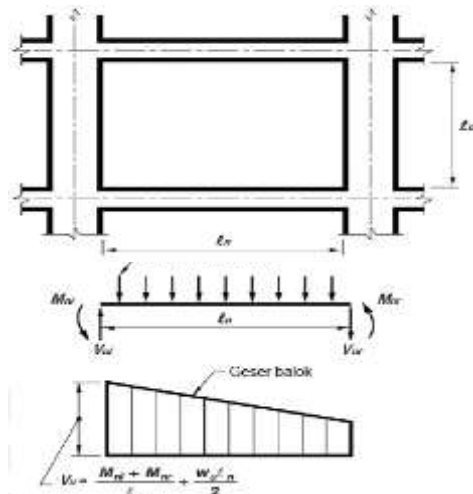
Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

Untuk perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 1,0 Ex + 0,3 Ey adalah kombinasi kritis dalam pemodelan.

C. Syarat Gaya Aksial pada Balok

Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.2, bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi $\frac{A_g \times f_{cr}}{10} = \frac{400 \times 700 \times 25}{10} = 700000 \text{ N}$

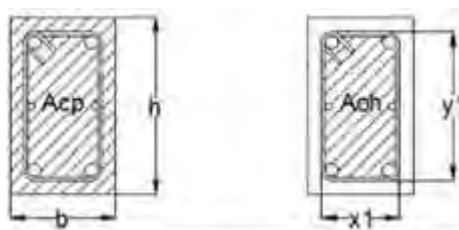
Berdasarkan SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3 mengenai Ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).



Gambar 4. 40 Bidang Geser Balok Induk

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir

Ukuran penampang balok yang dipakai = 40/70



Gambar 4. 41 Penampang Balok

**Luasan yang dibatasi oleh keliling luar
irisan penampang beton**

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \text{ balok} \times h \text{ balok} \\ &= 400 \times 700 \\ &= 280000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parimeter luar irisan penampang beton A_{cp}

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b \text{ balok} + h \text{ balok}) \\ &= 2 \times (400 \text{ mm} + 700 \text{ mm}) \\ &= 2200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - \emptyset \text{ geser}) \times (h \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - \emptyset \text{ geser}) \\ &= (400 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - 12 \text{ mm}) \times (700 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}) \\ &= 176416 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi tulangan sengkang terluar

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times [(b \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - \emptyset \text{ geser}) + (h \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - \emptyset \text{ geser})] \\ &= 2 \times [(400 - 2 \times 40 - 12) + (700 - 2 \times 40 - 12)] \\ &= 1784 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.2.4.1.1 Perhitungan Penulangan Torsi Memanjang

A. Perhitungan Tulangan Torsi Memanjang Tumpuan

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen torsi sebesar :

$$\text{COMB 1U} = 49765170 \text{ Nmm}$$

$$\text{COMB 2U} = 46751368 \text{ Nmm}$$

$$\text{COMB 3U} = 68973936 \text{ Nmm}$$

$$\text{COMB 3U} = 95283298 \text{ Nmm}$$

Momen Torsi Ultimate

Akibat Kombinasi 3U yaitu kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 1,0 Ex + 0,3 Ey

$$T_u = 95283298 \text{ Nmm}$$

Periksa Kebutuhan Tulangan Torsi

Syarat :

$$T_u \leq \phi \times 0.083 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times \frac{A_{cp}}{P_{cp}}$$

$$95283298 \text{ Nmm} \leq 0.75 \times 0.083 \times 1 \times \sqrt{25} \times \frac{280000}{2200}$$

$$95283298 \text{ Nmm} \leq 11091818 \text{ Nmm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan torsi.

Direncanakan :

S = 50 mm (disamakan dengan s pada hitungan geser)

$$\begin{aligned} A_t &= \frac{T_u \times s}{\phi \cdot 1.7 \cdot A_{oh} \cdot f_{yv} \cdot \cot \theta} \\ &= \frac{95283298 \times 50}{(0.75 \times 1.7 \times 176416 \times 240 \times \cot 45)} \\ &= 88.2526 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_l &= A_t \times \frac{P_h}{s} \times \frac{f_{yv}}{f_{y mem}} \times \cot \theta \\ &= 88.2526 \times \frac{1784}{50} \times \frac{240}{400} \times \cot 45 \\ &= 1889.31 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 0.-2847-2013 pasal 11.5.5.3 tulangan torsi memanjang minimum harus dihitung dengan ketentuan:

$$\begin{aligned} A_l \text{ min} &= (0.42 \times \sqrt{f_c'} \times \frac{A_{cp}}{f_{y \text{ mem}}}) / (A_t \times \frac{P_h}{s} \times \frac{f_{yv}}{f_{y \text{ mem}}}) \\ &= (0.42 \times \sqrt{25} \times \frac{280000}{400}) / (88.2526 \times \frac{1784}{50} \times \frac{240}{400}) \\ &= - 419.31 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Al diambil dari nilai yang terbesar yaitu sebesar 1889.31 mm²

Luasan tulangan torsi memanjang dibagi merata ke empat sisi balok yaitu

$$\frac{1}{4} A_l = 472.328 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang:

- Pada sisi atas disalurkan pada tulangan tarik balok
- Pada sisi bawah disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar 472.328 m²

Luasan tulangan torsi memanjang

$$\begin{aligned} A_l \text{ perlu} &= \frac{1}{2} \times A_l \\ &= \frac{1}{2} \times 1889.31 \text{ mm}^2 \\ &= 944.656 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan:

$$\begin{aligned} D &= 19 \text{ mm} \\ n &= 4 \text{ buah} \\ A_l \text{ pakai} &= 1134.11 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Periksa luasan tulangan

$A_l \text{ pakai} > A_l \text{ perlu}$

$$1134.11 \text{ mm}^2 > 944.656 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Sehingga tulangan lentur memanjang terpasang adalah sebesar 4 D 19

B. Perhitungan Tulangan Torsi Memanjang Lapangan

- Kebutuhan tulangan torsi memanjang lapangan (1 meter)

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen torsi sebesar :

$$\text{COMB 1U} = 47756721 \text{ Nmm}$$

$$\text{COMB 2U} = 44559441 \text{ Nmm}$$

$$\text{COMB 3U} = 63726459 \text{ Nmm}$$

$$\text{COMB 3U} = 88030116 \text{ Nmm}$$

Momen Torsi Ultimate

Akibat Kombinasi 3U yaitu kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 1,0 Ex + 0,3 Ey.

$$T_u = 88030116 \text{ Nmm}$$

Periksa Kebutuhan Tulangan Torsi

Syarat:

$$T_u \leq \phi \times 0.083 \times \lambda \times \sqrt{f'c} \times \frac{A_{cp}}{P_{cp}}$$

$$88030116 \text{ Nmm} \leq 0.75 \times 0.083 \times 1 \times \sqrt{25} \times \frac{280000}{2200}$$

$$88030116 \text{ Nmm} \leq 11091818 \text{ Nmm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan torsi.

Direncanakan:

s = 50 mm (disamakan dengan s pada hitungan geser)

$$\begin{aligned} A_t &= \frac{T_u \times s}{\phi \cdot 1.7 \cdot A_{oh} \cdot f_{yv} \cdot \cot \theta} \\ &= \frac{88030116 \times 50}{(0.75 \times 1.7 \times 176416 \times 240 \times \cot 450)} \\ &= 81.5346 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- **Kebutuhan tulangan torsi memanjang lapangan (2 meter)**

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen torsi sebesar :

COMB 1U	= 35831399 Nmm
COMB 2U	= 30025244 Nmm
COMB 3U	= 36969194 Nmm
COMB 3U	= 40813500 Nmm

Momen Torsi Ultimate

Akibat Kombinasi 3U yaitu kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 1,0 Ex + 0,3 Ey

$$T_u = 40813500 \text{ Nmm}$$

Periksa Kebutuhan Tulangan Torsi

Syarat :

$$T_u \leq \phi \times 0.083 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times \frac{A_{cp}}{p_{cp}}$$

$$40813500 \text{ Nmm} \leq 0.75 \times 0.083 \times 1 \times \sqrt{25} \times \frac{280000}{2200}$$

$$40813500 \text{ Nmm} \leq 11091818 \text{ Nmm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan torsi.

Direncanakan :

S = 125 mm (disamakan dengan s pada hitungan geser)

$$\begin{aligned} A_t &= \frac{T_u \times s}{\phi \cdot 1.7 \cdot A_{oh} \cdot f_{yv} \cdot \cot \theta} \\ &= \frac{40813500 \times 50}{(0.75 \times 1.7 \times 176416 \times 240 \times \cot 450)} \\ &= 94.5049 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- **Kebutuhan tulangan torsi memanjang lapangan (3 meter)**

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen torsi sebesar :

$$\begin{aligned}\text{COMB 1U} &= 32557105 \text{ Nmm} \\ \text{COMB 2U} &= 27276369 \text{ Nmm} \\ \text{COMB 3U} &= 36156091 \text{ Nmm} \\ \text{COMB 3U} &= 37762262 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Momen Torsi Ultimate

Akibat Kombinasi 3U yaitu kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 1,0 Ex + 0,3 Ey.

$$T_u = 37762262 \text{ Nmm}$$

Periksa Kebutuhan Tulangan Torsi

Syarat :

$$\begin{aligned}T_u &\leq \phi \times 0.083 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times \frac{A_{cp}}{P_{cp}} \\ 37762262 \text{ Nmm} &\leq 0.75 \times 0.083 \times 1 \times \sqrt{25} \times \frac{280000}{2200} \\ 37762262 \text{ Nmm} &\leq 11091818 \text{ Nmm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}\end{aligned}$$

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan torsi.

Direncanakan :

$$S = 125 \text{ mm (disamakan dengan s pada hitungan geser)}$$

$$\begin{aligned}A_t &= \frac{T_u \times s}{\phi \cdot 1.7 \cdot A_{oh} \cdot f_{yv} \cdot \cot \theta} \\ &= \frac{37762262 \times 50}{(0.75 \times 1.7 \times 176416 \times 240 \times \cot 45^\circ)} \\ &= 104.928 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

4.2.4.1.2 Perhitungan Tulangan Lentur

A. Perhitungan Tulangan Lentur Daerah Tumpuan Kanan (Momen Negatif)

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen sebesar:

COMB 1U	= 311361868 Nmm
COMB 2U	= 283490186 Nmm
COMB 3U	= 702659309 Nmm
COMB 3U	= 506714300 Nmm

Momen Ultimate

Akibat Kombinasi 3U yaitu kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 1,0 Ex + 0,3 Ey
 $M_u = 702659309 \text{ Nmm}$

Momen Nominal

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{702659309 \text{ Nmm}}{0.9} = 780732565.6 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{780732565.6}{\frac{b \times d^2}{400 \times 640}} = \frac{1541644534}{400 \times 640} = 4.76521$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_c'} = \frac{400}{0.85 \times 25} = 18.82$$

$$\begin{aligned} \rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18.82 \times 4.76521}{400}} \right) \\ &= 0.01367 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= 1.4/f_y \\
 &= 1.4/400 \\
 &= 0.0035 \\
 \rho_{\text{balance}} &= \frac{0.85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0.85 \times 0.85 \times 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\
 &= 0.02709 \\
 \rho_{\max} &= 0.75 \times \rho_{\text{balance}} \\
 &= 0.75 \times 0.027 \\
 &= 0.02032
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0.0035 < 0.01367 < 0.02032 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Luasan tulangan tarik yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d_x \\
 &= 0.01367 \times 400 \text{ mm} \times 640 \text{ mm} \\
 &= 3500.14 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s + \frac{1}{4} A_l &= \frac{1}{4} \times 3500.14 \text{ mm}^2 \\
 &= 3972.47 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan tarik yang digunakan adalah :

$$\begin{aligned}
 D &= 22 \text{ mm} \\
 n &= 11 \text{ mm} \\
 A_s &= 4181.46 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luasan tulangan

$$A_s_{\text{perlu}} < A_s_{\text{pakai}}$$

$$3972.47 \text{ mm}^2 < 4181.46 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Luasan tulangan tekan yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned}
 A_s' &= 1/3 \times A_s \\
 &= 1/3 \times 4181.46 \text{ mm}^2 \\
 &= 1393.82 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan tekan yang digunakan adalah:

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$n = 4 \text{ mm}$$

$$A_s = 1520.53 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

$A_s^{\text{perlu}} < A_s^{\text{pakai}}$

$$1393.82 \text{ mm}^2 < 1520.53 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Spasi antar tulangan

$$\begin{aligned} s_{\text{tarik}} &= \frac{b_{\text{balok}} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset_{\text{sengkang}} - n \times D_{\text{lentur}}}{n-1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 11 \times 22}{11-1} \\ &= 5.4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_{\text{tekan}} &= \frac{b_{\text{balok}} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset_{\text{sengkang}} - n \times D_{\text{lentur}}}{n-1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 4 \times 22}{4-1} \\ &= 69.33 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan

$$S_{\text{min}} = 25 \text{ mm}$$

Kontrol spasi antar tulangan tarik

$$S_{\text{pakai}} > S_{\text{min}}$$

$$5.4 \text{ mm} < 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik belum terpenuhi, maka dipasang tulangan lentur tarik 2 lapis

Kontrol spasi antar tulangan tarik

$$S_{\text{pakai}} > S_{\text{min}}$$

$$69.33 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tekan terpenuhi, maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

B. Perhitungan Tulangan Lentur Daerah Tumpuan (Momen Positif)

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen sebesar :

$$\begin{aligned}\text{COMB 1U} &= - \text{Nmm} \\ \text{COMB 2U} &= - \text{Nmm} \\ \text{COMB 3U} &= 126480776 \text{ Nmm} \\ \text{COMB 3U} &= - \text{Nmm}\end{aligned}$$

Momen Ultimate

Akibat Kombinasi 3U yaitu kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 1,0 Ex + 0,3 Ey

$$Mu = 126480776 \text{ Nmm}$$

Momen Nominal

$$\begin{aligned}Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{126480776 \text{ Nmm}}{0.9} \\ &= 140534195 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Rn &= \frac{126480776}{b \times d^2} \\ &= \frac{1541644534}{400 \times 640} \\ &= 0.85775\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{fy}{0.85 \times fc'} \\ &= \frac{400}{0.85 \times 25} \\ &= 18.82\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18.82 \times 0.85775}{400}} \right)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.00219 \\
 \rho_{\min} &= 1.4/f_y \\
 &= 1.4/400 \\
 &= 0.0035
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{balance}} &= \frac{0.85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0.85 \times 0.85 \times 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\
 &= 0.02709
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0.75 \times \rho_{\text{balance}} \\
 &= 0.75 \times 0.027 \\
 &= 0.02032
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 &\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\
 &0.0035 < 0.00219 < 0.02032 \quad \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Karena ρ_{perlu} lebih kecil daripada ρ_{\min} maka ρ yang digunakan adalah ρ_{\min} yaitu 0.0035

Luasan tulangan tarik yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d_x \\
 &= 0.0035 \times 400 \text{ mm} \times 640 \text{ mm} \\
 &= 896 \text{ mm}^2 \\
 A_s + \frac{1}{4} A_l &= \frac{1}{4} \times 896 \text{ mm}^2 \\
 &= 1368.33 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan tarik yang digunakan adalah :

$$\begin{aligned}
 D &= 22 \text{ mm} \\
 n &= 11 \text{ mm} \\
 A_s &= 4181.46 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luasan tulangan

$$A_s_{\text{perlu}} < A_s_{\text{pakai}}$$

$$3972.47 \text{ mm}^2 < 4181.46 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Luasan tulangan tekan yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned} A_s' &= 1/3 \times A_s \\ &= 1/3 \times 4181.46 \text{ mm}^2 \\ &= 1393.82 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned} D &= 22 \text{ mm} \\ n &= 4 \text{ mm} \\ A_s &= 1520.53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luasan tulangan

$$\begin{aligned} A_s' \text{ perlu} &< A_s' \text{ pakai} \\ 1393.82 \text{ mm}^2 &< 1520.53 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

Spasi antar tulangan

$$\begin{aligned} s \text{ tarik} &= \frac{b \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset \text{sengkang} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 11 \times 22}{11-1} \\ &= 5.4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s \text{ tekan} &= \frac{b \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset \text{sengkang} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 4 \times 22}{4-1} \\ &= 69.33 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan

$$S \text{ min} = 25 \text{ mm}$$

Kontrol spasi antar tulangan tarik

$$\begin{aligned} S \text{ pakai} &> S \text{ min} \\ 5.4 \text{ mm} &< 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Tidak Memenuhi} \end{aligned}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik belum terpenuhi, maka dipasang tulangan lentur tarik 2 lapis

Kontrol spasi antar tulangan tarik

$S_{pakai} > S_{min}$

$69.33 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$

→ Memenuhi

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tekan terpenuhi, maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

C. Perhitungan Tulangan Lentur Daerah Lapangan (Momen Positif)

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen sebesar :

COMB 1U = 230741438.5 Nmm

COMB 2U = 209145591.2 Nmm

COMB 3U = 276576791 Nmm

COMB 3U = 287752860 Nmm

Momen Ultimate

Akibat Kombinasi 3U yaitu kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 1,0

$E_x + 0,3 E_y$

$M_u = 287752860 \text{ Nmm}$

Momen Nominal

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{287752860 \text{ Nmm}}{0.9} \\ &= 319725400 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{319725400}{400 \times 640} \\ &= 1.95145 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0.85 \times f_c'} \\ &= \frac{400}{0.85 \times 25} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 18.82 \\
 \rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18.82 \times 1.95145}{400}} \right) \\
 &= 0.00513
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ min} &= 1.4/f_y \\
 &= 1.4/400 \\
 &= 0.0035
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ balance} &= \frac{0.85 \times \beta_1 \times f_c' \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y} \\
 &= \frac{0.85 \times 0.85 \times 25 \left(\frac{600}{600 + 400} \right)}{400} \\
 &= 0.02709
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ max} &= 0.75 \times \rho \text{ balance} \\
 &= 0.75 \times 0.027 \\
 &= 0.02032
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho \text{ min} < \rho \text{ perlu} < \rho \text{ max}$$

$$0.0035 < 0.00513 < 0.02032$$

→ Memenuhi

Luasan tulangan tarik yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d_x \\
 &= 0.00513 \times 400 \text{ mm} \times 640 \text{ mm} \\
 &= 1312.23 \text{ mm}^2 \\
 A_s + \frac{1}{4} A_l &= \frac{1}{4} \times 1312.23 \text{ mm}^2 \\
 &= 1784.56 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan tarik yang digunakan adalah :

$$\begin{aligned}
 D &= 22 \text{ mm} \\
 n &= 5 \text{ mm} \\
 A_s &= 1900.66 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luasan tulangan

As perlu < As pakai

$$1784.56 \text{ mm}^2 < 1900.66 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Luasan tulangan tekan yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned} A_s' &= 1/3 \times A_s \\ &= 1/3 \times 1900.66 \text{ mm}^2 \\ &= 633.555 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan yang digunakan adalah :

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$n = 2 \text{ mm}$$

$$A_s = 760.265 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

As' perlu < As' pakai

$$633.555 \text{ mm}^2 < 760.265 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Spasi antar tulangan

$$\begin{aligned} s_{\text{tarik}} &= \frac{b \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset \text{sengkang} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 5 \times 22}{5-1} \\ &= 46.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_{\text{tekan}} &= \frac{b \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset \text{sengkang} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 2 \times 22}{2-1} \\ &= 256 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan

$$S_{\text{min}} = 25 \text{ mm}$$

Kontrol spasi antar tulangan tarik

S pakai > S min

$$46.5 \text{ mm} < 25 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik terpenuhi, maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

Kontrol spasi antar tulangan tarik

$$S_{\text{pakai}} > S_{\text{min}}$$

$$256 \text{ mm} < 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tekan terpenuhi, maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

D. Perhitungan Tulangan Lentur Daerah Tumpuan kiri (Momen Negatif)

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen sebesar :

$$\text{COMB 1U} = 249124474 \text{ Nmm}$$

$$\text{COMB 2U} = 234957430 \text{ Nmm}$$

$$\text{COMB 3U} = 612349105 \text{ Nmm}$$

$$\text{COMB 3U} = 392781876 \text{ Nmm}$$

Momen Ultimate

Akibat Kombinasi 3U yaitu kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 1,0 Ex + 0,3 Ey

$$M_u = 612349105 \text{ Nmm}$$

Momen Nominal

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{612349105 \text{ Nmm}}{0.9} \\ &= 680387894.4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{680387894.4}{b \times d^2} \\ &= \frac{680387894.4}{400 \times 640} \\ &= 4.15276 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0.85 \times f_c'} \\
 &= \frac{400}{0.85 \times 25} \\
 &= 18.82
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18.82 \times 4.15276}{400}} \right) \\
 &= 0.01166
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ min} &= 1.4/f_y \\
 &= 1.4/400 \\
 &= 0.0035
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ balance} &= \frac{0.85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0.85 \times 0.85 \times 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\
 &= 0.02709
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ max} &= 0.75 \times \rho \text{ balance} \\
 &= 0.75 \times 0.027 \\
 &= 0.02032
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho \text{ min} < \rho \text{ perlu} < \rho \text{ max}$$

$$0.0035 < 0.01166 < 0.02032$$

→ Memenuhi

Luasan tulangan tarik yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d_x \\
 &= 0.01166 \times 400 \text{ mm} \times 640 \text{ mm} \\
 &= 2985.44 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s + \frac{1}{4} A_l &= \frac{1}{4} \times 2985.44 \text{ mm}^2 \\
 &= 3547.77 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan tarik yang digunakan adalah :

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$n = 10 \text{ mm}$$

$$A_s = 3801.33 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

$A_s \text{ perlu} < A_s \text{ pakai}$

$$3547.77 \text{ mm}^2 < 3801.33 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Luasan tulangan tekan yang dibutuhkan adalah:

$$A_s' = 1/3 \times A_s$$

$$= 1/3 \times 3801.33 \text{ mm}^2$$

$$= 1276.11 \text{ mm}^2$$

Tulangan tekan yang digunakan adalah :

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$n = 4 \text{ mm}$$

$$A_s = 1520.53 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

$A_s' \text{ perlu} < A_s' \text{ pakai}$

$$1276.11 \text{ mm}^2 < 1520.53 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Spasi antar tulangan

$$s \text{ tarik} = \frac{b \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset \text{sengkang} - n \times D \text{ lentur}}{n-1}$$

$$= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 10 \times 22}{10-1}$$

$$= 8.44 \text{ mm}$$

$$s \text{ tekan} = \frac{b \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset \text{sengkang} - n \times D \text{ lentur}}{n-1}$$

$$= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 4 \times 22}{4-1}$$

$$= 69.33 \text{ mm}$$

Syarat spasi antar tulangan

$$S \text{ min} = 25 \text{ mm}$$

Kontrol spasi antar tulangan tarik

$S_{pakai} > S_{min}$

8.44 mm < 25 mm

→ Tidak Memenuhi

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik belum terpenuhi, maka dipasang tulangan lentur tarik 2 lapis

Kontrol spasi antar tulangan tarik

$S_{pakai} > S_{min}$

69.33 mm > 25 mm

→ Memenuhi

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tekan terpenuhi, maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

E. Perhitungan Tulangan Lentur Daerah Tumpuan kiri (Momen Negatif)

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen sebesar :

COMB 1U = - Nmm

COMB 2U = - Nmm

COMB 3U = 125930190 Nmm

COMB 3U = - Nmm

Momen Ultimate

Akibat Kombinasi 3U yaitu kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 1,0 Ex + 0,3 Ey

$M_u = 125930190 \text{ Nmm}$

Momen Nominal

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{125930190 \text{ Nmm}}{0.9} \\ &= 129922433.3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\
 &= \frac{129922433.3}{400 \times 640} \\
 &= 0.85402
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0.85 \times f_{c'}} \\
 &= \frac{400}{0.85 \times 25} \\
 &= 18.82
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18.82 \times 0.85402}{400}} \right) \\
 &= 0.00218
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{min}} &= 1.4/f_y \\
 &= 1.4/400 \\
 &= 0.0035
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{balance}} &= \frac{0.85 \times \beta_1 \times f_{c'}}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0.85 \times 0.85 \times 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\
 &= 0.02709
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{max}} &= 0.75 \times \rho_{\text{balance}} \\
 &= 0.75 \times 0.027 \\
 &= 0.02032
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{min}} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}} \\
 0.0035 &< 0.00218 < 0.02032
 \end{aligned}$$

Memenuhi

→ Tidak

Karena ρ perlu lebih kecil daripada ρ_{min} maka ρ yang digunakan adalah ρ_{min} yaitu 0.0035

Luasan tulangan tarik yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d_x \\ &= 0.0035 \times 400 \text{ mm} \times 640 \text{ mm} \\ &= 896 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s + \frac{1}{4} A_l &= \frac{1}{4} \times 896 \text{ mm}^2 \\ &= 1368.33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tarik yang digunakan adalah :

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$n = 4 \text{ buah}$$

$$A_s = 1520.53 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

$$A_s \text{ perlu} < A_s \text{ pakai}$$

$$1368.33 \text{ mm}^2 < 1520.53 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Luasan tulangan tekan yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned} A_s' &= \frac{1}{3} \times A_s \\ &= \frac{1}{3} \times 1520.53 \text{ mm}^2 \\ &= 506.844 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan yang digunakan adalah :

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$n = 2 \text{ buah}$$

$$A_s = 760.265 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

$$A_s' \text{ perlu} < A_s' \text{ pakai}$$

$$506.844 \text{ mm}^2 < 760.265 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Spasi antar tulangan

$$\begin{aligned}
 s \text{ tarik} &= \frac{b \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset \text{sengkang} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\
 &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 4 \times 22}{4-1} \\
 &= 69.33 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s \text{ tekan} &= \frac{b \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset \text{sengkang} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\
 &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 2 \times 22}{2-1} \\
 &= 256 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan

$$S \text{ min} = 25 \text{ mm}$$

Kontrol spasi antar tulangan tarik

$$S \text{ pakai} > S \text{ min}$$

$$69.33 \text{ mm} < 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik belum terpenuhi, maka dipasang tulangan lentur tarik 2 lapis

Kontrol spasi antar tulangan tekan

$$S \text{ pakai} > S \text{ min}$$

$$256 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tekan terpenuhi, maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

4.2.4.1.3 Perhitungan Geser

A. Data Perencanaan

Tipe balok	: BI (40/70)
As Balok	: E (3-2)
Bentang Balok (L balok)	: 8000 mm
Dimensi balok (b balok)	: 400 mm
Dimensi balok (h balok)	: 700 mm
Dimensi pelat (b pelat)	: 3500 mm
Dimensi pelat (h pelat)	: 3500 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 25 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_yv)	: 240 MPa
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	: 18 mm
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0.75

B. Perhitungan Pembebanan

o Pembebanan pada Pelat

Beban Mati

Berat sendiri pelat ($t = 15\text{cm}$)	$= 360 \text{ kg/m}^2$
Spesi per cm tebal ($t = 1 \text{ cm}$)	$= 21 \text{ kg/m}^2$
Berat total (qD pelat)	$= 381 \text{ kg/m}^2$

Beban Ekuivalen

$$\begin{aligned}
 qD \text{ trapesium} &= qD \text{ pelat} \times \frac{1}{2} \times Lx \\
 &= 381 \text{ kg/m}^2 \times \frac{1}{2} \times 3.5 \text{ m} \\
 &= 666.75 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 qD \text{ ekuivalen trapesium} &= \frac{1}{3} \times qD \text{ trap} \times \left(3 - \frac{Lx^2}{Ly} \right) \\
 &= \frac{1}{3} \times 666.75 \text{ kg/m} \times \left(3 - \frac{3.5^2}{3.5} \right) \\
 &= 444.5 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 qD \text{ ekuivalen segitiga} &= \frac{2}{3} \times qD \text{ trapesium} \\
 &= \frac{2}{3} \times 666.75 \text{ kg/m} \\
 &= 444.5 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Beban Hidup

$$\text{Sekolah (qL pelat)} = 800 \text{ kg/m}^2$$

Beban Ekuivalen

$$\begin{aligned} \text{qL trapezium} &= \text{qL pelat} \times \frac{1}{2} \times Lx \\ &= 800 \text{ kg/m}^2 \times \frac{1}{2} \times 3.5 \text{ m} \\ &= 1400 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{qL ekuivalen trapesium} &= \frac{1}{3} \times \text{qL trap} \times \left(3 - \frac{Lx^2}{Ly} \right) \\ &= \frac{1}{3} \times 1400 \text{ kg/m}^2 \times \left(3 - \frac{3.5^2}{3.5} \right) \\ &= 933.333 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{qL ekuivalen segitiga} &= \frac{2}{3} \times \text{qL trapesium} \\ &= \frac{2}{3} \times 1400 \text{ kg/m} \\ &= 933.333 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- Pembebanan pada Balok dan Beban Ultimate

Beban Mati

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri balok} &= 672 \text{ kg/m} \\ \text{qD ekuivalen pelat} &= 889 \text{ kg/m} \\ \text{Berat total (qD balok)} &= 1561 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Beban Hidup

$$\text{qL ekuivalen segitiga} = 933.3 \text{ kg/m}$$

Beban Ultimate

$$1.2D + 1L = 2806.53 \text{ kg/m}$$

- C. Perhitungan Geser Ultimate

Momen Nominal Kiri (Mnl)

$$\begin{aligned} \text{Tulangan Tumpuan Kiri} &= 11 \text{ D } 22 \\ \text{As pakai} &= 4181.46 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \times f_y \\
 &= 4181.46 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \\
 &= 1672584 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{T}{0.85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{1672584 \text{ N}}{0.85 \times 25 \times 400} \\
 &= 196.775 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{nl} &= T \times (d - a/2) \times \phi \\
 &= 1672584 \text{ N} \times (640 - 196.775/2) \times 0.75 \\
 &= 679419535.9 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen Nominal Kanan (Mnr)

$$\begin{aligned}
 \text{Tulangan Tumpuan Kanan} &= 4 \text{ D } 22 \\
 \text{As pakai} &= 1520.53 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \times f_y \\
 &= 1520.53 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \\
 &= 608212.3377 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{T}{0.85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{608212.3377 \text{ N}}{0.85 \times 25 \times 400} \\
 &= 71.554 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{nr} &= T \times (d - a/2) \times \phi \\
 &= 608212.3377 \text{ N} \times (640 - 71.554/2) \times 0.75 \\
 &= 275621822.9 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Gaya Geser Terfaktor (Vu)

Gaya geser terfaktor tumpuan (Vu tumpuan)

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + \frac{W_u \cdot L_n}{2} \\
 &= \frac{679419535.9 + 275621822.9}{7300} + 171034.5 \\
 &= 301862.1234 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Gaya geser terfaktor jarak 1 meter (Vu 1 meter)

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + \frac{W_u \cdot (L_n - 2000)}{2} \\ &= \frac{679419535.9 + 275621822.9}{7300} + 148521 \\ &= 279348.6434 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya geser terfaktor jarak 2 meter (Vu 2 meter)

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + \frac{W_u \cdot (L_n - 4000)}{2} \\ &= \frac{679419535.9 + 275621822.9}{7300} + 80822 \\ &= 211649.5934 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya geser terfaktor jarak 3 meter (Vu 3 meter)

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + W_u \frac{L_n - 6000}{2} \\ &= \frac{679419535.9 + 275621822.9}{7300} + 57873 \\ &= 188700.3734 \text{ N} \end{aligned}$$

D. Perhitungan Geser akibat Lentur saja

Perhitungan Geser akibat Lentur daerah tumpuan

Diketahui :

$$V_u \text{ syarat SRPMM} = 301862 \text{ N}$$

$$V_u \text{ max} = 301862 \text{ N}$$

Menghitung Kuat Geser Beton (Vc)

$$\begin{aligned} V_c &= 0.17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\ &= 0.17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 400 \times 640 \\ &= 217600 \text{ N} \end{aligned}$$

Menghitung Kuat Geser Tulangan (Vs)

$$\begin{aligned} V_{s \text{ min}} &= 1/3 \times b_w \times d \\ &= 1/3 \times 400 \times 640 \\ &= 85333.3 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s \max &= 0.33 \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d \\
 &= 0.33 \times \sqrt{25} \times 400 \times 640 \\
 &= 426667 \text{ N} \\
 2V_s \max &= 0.66 \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d \\
 &= 0.66 \times \sqrt{25} \times 400 \times 640 \\
 &= 426667 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek Kondisi Perencanaan Geser

Kondisi I

$$\begin{aligned}
 V_u &< 0.5 \times \phi \times V_c \\
 301862 \text{ N} &< 81600 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Kondisi II

$$\begin{aligned}
 V_u &< \phi \times V_c \\
 301862 \text{ N} &< 163200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Kondisi III

$$\begin{aligned}
 V_u &< \phi \times (V_c + V_s) \\
 301862 \text{ N} &< 227200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Kondisi IV

$$\begin{aligned}
 V_u &< \phi \times (V_c + \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d) \\
 301862 \text{ N} &< 483200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Kondisi V

$$\begin{aligned}
 V_u &< \phi \times (V_c + \frac{2}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d) \\
 301862 \text{ N} &< 803200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Keterangan :

- Apabila perhitungan beban geser masuk dalam kondisi satu sampai tiga maka menggunakan tulangan geser minimum

- Apabila perhitungan beban geser masuk dalam kondisi empat sampai lima maka desain tulangan geser sesuai dengan perhitungan

Berdasarkan periksa kondisi beban geser, didapatkan bahwa tulangan geser balok masuk dalam kondisi 4,

Syarat spasi antar tulangan

$$\begin{aligned} d/2 &= 320 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi} \\ s &= 50 \text{ mm} \leq 320 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi} \\ A_v \text{ min} &= 0.35 \times b_w \times s / f_y \\ &= 0.35 \times 400 \times 50 / 400 \\ &= 29.1667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan geser minimum

$$\begin{aligned} V_s \text{ perlu} &= (V_u - \phi V_c) / \phi \\ &= (301862 - 0.75 \times 217600) / 0.75 \\ &= 184883 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v \text{ perlu} &= \frac{V_s \times s}{f_y \times d} \\ &= \frac{184883 \times 50}{400 \times 640} \\ &= 60.1832 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan Geser akibat Lentur daerah Lapangan (1 meter)

Diketahui :

$$\begin{aligned} V_u \text{ syarat SRPMM} &= 279349 \text{ N} \\ V_u \text{ max} &= 279349 \text{ N} \end{aligned}$$

Menghitung Kuat Geser Beton (V_c)

$$\begin{aligned} V_c &= 0.17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\ &= 0.17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 400 \times 640 \\ &= 217600 \text{ N} \end{aligned}$$

Menghitung Kuat Geser Tulangan (V_s)

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ min} &= 1/3 \times b_w \times d \\
 &= 1/3 \times 400 \times 640 \\
 &= 85333.3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ max} &= 0.33 \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d \\
 &= 0.33 \times \sqrt{25} \times 400 \times 640 \\
 &= 426667 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2V_s \text{ max} &= 0.66 \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d \\
 &= 0.66 \times \sqrt{25} \times 400 \times 640 \\
 &= 426667 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek Kondisi Perencanaan Geser

Kondisi I

$$\begin{aligned}
 V_u &< 0.5 \times \phi \times V_c \\
 279349 \text{ N} &< 81600 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Kondisi II

$$\begin{aligned}
 V_u &< \phi \times V_c \\
 279349 \text{ N} &< 163200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Kondisi III

$$\begin{aligned}
 V_u &< \phi \times (V_c + V_s) \\
 279349 \text{ N} &< 227200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Kondisi IV

$$\begin{aligned}
 V_u &< \phi \times (V_c + \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d) \\
 279349 \text{ N} &< 483200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Kondisi V

$$\begin{aligned}
 V_u &< \phi \times (V_c + \frac{2}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d) \\
 279349 \text{ N} &< 803200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Keterangan :

- Apabila perhitungan beban geser masuk dalam kondisi satu sampai tiga maka menggunakan tulangan geser minimum
- Apabila perhitungan beban geser masuk dalam kondisi empat sampai lima maka desain tulangan geser sesuai dengan perhitungan

Berdasarkan periksa kondisi beban geser, didapatkan bahwa tulangan geser balok masuk dalam kondisi 4,

Syarat spasi antar tulangan

$$d/2 = 320 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$s = 50 \text{ mm} \leq 320 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$\begin{aligned} A_v \text{ min} &= 0.35 \times b_w \times s / f_y \\ &= 0.35 \times 400 \times 50 / 400 \\ &= 29.1667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan geser minimum

$$\begin{aligned} V_s \text{ perlu} &= (V_u - \phi V_c) / \phi \\ &= (279349 - 0.75 \times 217600) / 0.75 \\ &= 154865 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v \text{ perlu} &= \frac{V_s \times s}{f_y \times d} \\ &= \frac{154865 \times 50}{400 \times 640} \\ &= 50.4117 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan Geser akibat Lentur daerah Lapangan (2 meter)

Diketahui :

$$V_u \text{ syarat SRPMM} = 211650 \text{ N}$$

$$V_u \text{ max} = 211650 \text{ N}$$

Menghitung Kuat Geser Beton (V_c)

$$\begin{aligned} V_c &= 0.17 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d \\ &= 0.17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 400 \times 640 \\ &= 217600 \text{ N} \end{aligned}$$

Menghitung Kuat Geser Tulangan (V_s)

$$\begin{aligned} V_{s \text{ min}} &= 1/3 \times b_w \times d \\ &= 1/3 \times 400 \times 640 \\ &= 85333.3 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ max}} &= 0.33 \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d \\ &= 0.33 \times \sqrt{25} \times 400 \times 640 \\ &= 426667 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2V_{s \text{ max}} &= 0.66 \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d \\ &= 0.66 \times \sqrt{25} \times 400 \times 640 \\ &= 426667 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek Kondisi Perencanaan Geser

Kondisi I

$$V_u < 0.5 \times \phi \times V_c$$

$$211650 \text{ N} < 81600 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}$$

Kondisi II

$$V_u < \phi \times V_c$$

$$211650 \text{ N} < 163200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}$$

Kondisi III

$$V_u < \phi \times (V_c + V_s)$$

$$211650 \text{ N} < 227200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kondisi IV

$$V_u < \phi \times (V_c + \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d)$$

$$211650 \text{ N} < 483200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kondisi V

$$V_u < \phi \times (V_c + \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d)$$

$$211650 \text{ N} < 803200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Keterangan :

- Apabila perhitungan beban geser masuk dalam kondisi satu sampai tiga maka menggunakan tulangan geser minimum
- Apabila perhitungan beban geser masuk dalam kondisi empat sampai lima maka desain tulangan geser sesuai dengan perhitungan

Berdasarkan periksa kondisi beban geser, didapatkan bahwa tulangan geser balok masuk dalam kondisi 3.

Syarat spasi antar tulangan

$$d/2 = 320 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$s = 125 \text{ mm} \leq 320 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$A_v \text{ min} = 0.35 \times b_w \times s / f_y$$

$$= 0.35 \times 400 \times 125 / 400$$

$$= 72.9167 \text{ mm}^2$$

Kebutuhan tulangan geser minimum

$$V_s \text{ perlu} = (V_u - \phi V_c) / \phi$$

$$= (211650 - 0.75 \times 217600) / 0.75$$

$$= 64599.5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_v \text{ perlu} &= \frac{V_s \times s}{f_y \times d} \\
 &= \frac{64599.5 \times 50}{400 \times 640} \\
 &= 52.5712 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan Geser akibat Lentur daerah Lapangan (3 meter)

Diketahui :

$$V_u \text{ syarat SRPMM} = 188700 \text{ N}$$

$$V_u \text{ max} = 188700 \text{ N}$$

Menghitung Kuat Geser Beton (V_c)

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0.17 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d \\
 &= 0.17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 400 \times 640 \\
 &= 217600 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Menghitung Kuat Geser Tulangan (V_s)

$$\begin{aligned}
 V_{s \text{ min}} &= 1/3 \times b_w \times d \\
 &= 1/3 \times 400 \times 640 \\
 &= 85333.3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{s \text{ max}} &= 0.33 \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d \\
 &= 0.33 \times \sqrt{25} \times 400 \times 640 \\
 &= 426667 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2V_{s \text{ max}} &= 0.66 \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d \\
 &= 0.66 \times \sqrt{25} \times 400 \times 640 \\
 &= 426667 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek Kondisi Perencanaan Geser

Kondisi 1

$$V_u < 0.5 \times \phi \times V_c$$

$$188700 \text{ N} < 81600 \text{ N}$$

→ Tidak Memenuhi

Kondisi II

$$V_u < \phi \times V_c$$

$$188700 \text{ N} < 163200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}$$

Kondisi III

$$V_u < \phi \times (V_c + V_s)$$

$$188700 \text{ N} < 227200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}$$

Kondisi IV

$$V_u < \phi \times (V_c + \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d)$$

$$188700 \text{ N} < 483200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kondisi V

$$V_u < \phi \times (V_c + \frac{2}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d)$$

$$188700 \text{ N} < 803200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Keterangan :

- Apabila perhitungan beban geser masuk dalam kondisi satu sampai tiga maka menggunakan tulangan geser minimum
- Apabila perhitungan beban geser masuk dalam kondisi empat sampai lima maka desain tulangan geser sesuai dengan perhitungan

Berdasarkan periksa kondisi beban geser, didapatkan bahwa tulangan geser balok masuk dalam kondisi 4,

Syarat spasi antar tulangan

$$d/2 = 320 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$s = 150 \text{ mm} \leq 320 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$A_v \text{ min} = 0.35 \times b_w \times s / f_y$$

$$= 0.35 \times 400 \times 150 / 400$$

$$= 87.5 \text{ mm}^2$$

Kebutuhan tulangan geser minimum

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ perlu} &= (V_u - \phi V_c) / \phi \\
 &= (188700 - 0.75 \times 217600) / 0.75 \\
 &= 34000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_v \text{ perlu} &= \frac{V_s \times s}{f_y \times d} \\
 &= \frac{34000 \times 50}{400 \times 640} \\
 &= 33.2036 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

E. Perhitungan Geser akibat Lentur dan Torsi

Perhitungan Geser akibat Lentur dan Torsi TumpuanKebutuhan tulangan sengkang tertutup

$$\begin{aligned}
 A_v + 2A_t &= 60.1832 \text{ mm}^2 + (2 \times 104.928 \text{ mm}^2) \\
 &= 236.688 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0.062 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times \frac{s}{f_{yt}} &= 0.062 \times \sqrt{25} \times 400 \times \frac{50}{240} \\
 &= 25.833 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0.35 \times b_w \times \frac{s}{f_{yt}} &= 0.35 \times 400 \times \frac{50}{240} \\
 &= 29.1667 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Sehingga kebutuhan tulangan sengkang tertutup adalah
236.688 mm²

Tulangan sengkang tertutup yang terpasang

$$A_v \text{ perlu} = 236.688 \text{ mm}^2$$

Direncanakan :

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$S = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah kaki} = 3$$

$$A_v \text{ pakai} = 339.292 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

$A_v \text{ perlu} < A_v \text{ pakai}$

$$236.688 \text{ mm}^2 < 339.292 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Syarat spasi tulangan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 :

1. Spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- $d/4 = 160 \text{ mm}$
- $8 \times D = 152 \text{ mm}$
- $24 \times \emptyset = 288 \text{ mm}$
- 300 mm

$$S_{\text{max}} = 152 \text{ mm}$$

2. Spasi sengkang harus ditempatkan $\leq 50 \text{ mm}$ dari muka komponen struktur penumpu

3. Spasi sengkang harus disediakan sepanjang panjang $\geq 2h$ diukur dari muka komponen struktur

Kontrol spasi tulangan

$S_{\text{pakai}} < S_{\text{max}}$

$$50 \text{ mm} < 152 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

***Perhitungan Geser akibat Lentur dan Torsi Lapangan
(1 meter)***

Kebutuhan tulangan sengkang tertutup

$$\begin{aligned} A_v + 2A_t &= 50.4117 \text{ mm}^2 + (2 \times 104.928 \text{ mm}^2) \\ &= 213.481 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0.062 \times \sqrt{f'c'} \times bw \times \frac{s}{f_{yt}} &= 0.062 \times \sqrt{25} \times 400 \times \frac{50}{240} \\ &= 25.833 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0.35 \times bw \times \frac{s}{f_{yt}} &= 0.35 \times 400 \times \frac{50}{240} \\ &= 29.1667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sehingga kebutuhan tulangan sengkang tertutup adalah
 213.481 mm^2

Tulangan sengkang tertutup yang terpasang

$$A_v \text{ perlu} = 213.481 \text{ mm}^2$$

Direncanakan :

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$S = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah kaki} = 3$$

$$A_v \text{ pakai} = 339.292 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

$$213.481 \text{ mm}^2 < 339.292 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Syarat spasi tulangan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 :

1. Spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- $d/4 = 160 \text{ mm}$
- $8 \times D = 152 \text{ mm}$
- $24 \times \emptyset = 288 \text{ mm}$
- 300 mm

$$S_{\text{max}} = 152 \text{ mm}$$

2. Spasi sengkang harus ditempatkan $\leq 50 \text{ mm}$ dari muka komponen struktur penumpu

3. Spasi sengkang harus disediakan sepanjang panjang $\geq 2h$ diukur dari muka komponen struktur

Kontrol spasi tulangan

$$S_{\text{pakai}} < S_{\text{max}}$$

$$50 \text{ mm} < 152 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

***Perhitungan Geser akibat Lentur dan Torsi Lapangan
(2 meter)***

Kebutuhan tulangan sengkang tertutup

$$\begin{aligned} A_v + 2A_t &= 52.5712 \text{ mm}^2 + (2 \times 104.928 \text{ mm}^2) \\ &= 261.927 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0.062 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times \frac{s}{f_{yt}} &= 0.062 \times \sqrt{25} \times 400 \times \frac{125}{240} \\ &= 64.5833 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0.35 \times b_w \times \frac{s}{f_{yt}} &= 0.35 \times 400 \times \frac{125}{240} \\ &= 72.9167 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

sehingga kebutuhan tulangan sengkang tertutup adalah
261.927 mm²

Tulangan sengkang tertutup yang terpasang

$$A_v \text{ perlu} = 261.927 \text{ mm}^2$$

Direncanakan :

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$S = 125 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah kaki} = 3$$

$$A_v \text{ pakai} = 339.292 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

$$A_v \text{ perlu} < A_v \text{ pakai}$$

$$261.927 \text{ mm}^2 < 339.292 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Syarat spasi tulangan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2

1. Spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- $d/4 = 160 \text{ mm}$
- $8 \times D = 152 \text{ mm}$
- $24 \times \emptyset = 288 \text{ mm}$
- 300 mm

$$S_{\max} = 152 \text{ mm}$$

2. Spasi sengkang harus ditempatkan $\leq 50 \text{ mm}$ dari muka komponen struktur penumpu
3. Spasi sengkang harus disediakan sepanjang panjang $\geq 2h$ diukur dari muka komponen struktur

Kontrol spasi tulangan

$$S_{\text{pakai}} < S_{\max}$$

$$125 \text{ mm} < 152 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Perhitungan Geser akibat Lentur dan Torsi Lapangan (3 meter)

Kebutuhan tulangan sengkang tertutup

$$\begin{aligned} A_v + 2A_t &= 33.2036 \text{ mm}^2 + (2 \times 104.928 \text{ mm}^2) \\ &= 297.355 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$0.062 \times \sqrt{f_c'} \times bw \times \frac{s}{f_{yt}} = 0.062 \times \sqrt{25} \times 400 \times \frac{150}{240} = 77.5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} 0.35 \times bw \times \frac{s}{f_{yt}} &= 0.35 \times 400 \times \frac{150}{240} \\ &= 87.5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

sehingga kebutuhan tulangan sengkang tertutup adalah 297.355 mm^2

Tulangan sengkang tertutup yang terpasang

$$A_v \text{ perlu} = 297.355 \text{ mm}^2$$

Direncanakan :

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$S = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah kaki} = 3$$

$$A_v \text{ pakai} = 339.292 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

$A_v \text{ perlu} < A_v \text{ pakai}$

$297.355 \text{ mm}^2 < 339.292 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi}$

Syarat spasi tulangan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2

1. Spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- $d/4 = 160 \text{ mm}$
- $8 \times D = 152 \text{ mm}$
- $24 \times \emptyset = 288 \text{ mm}$
- 300 mm

$S_{\text{max}} = 152 \text{ mm}$

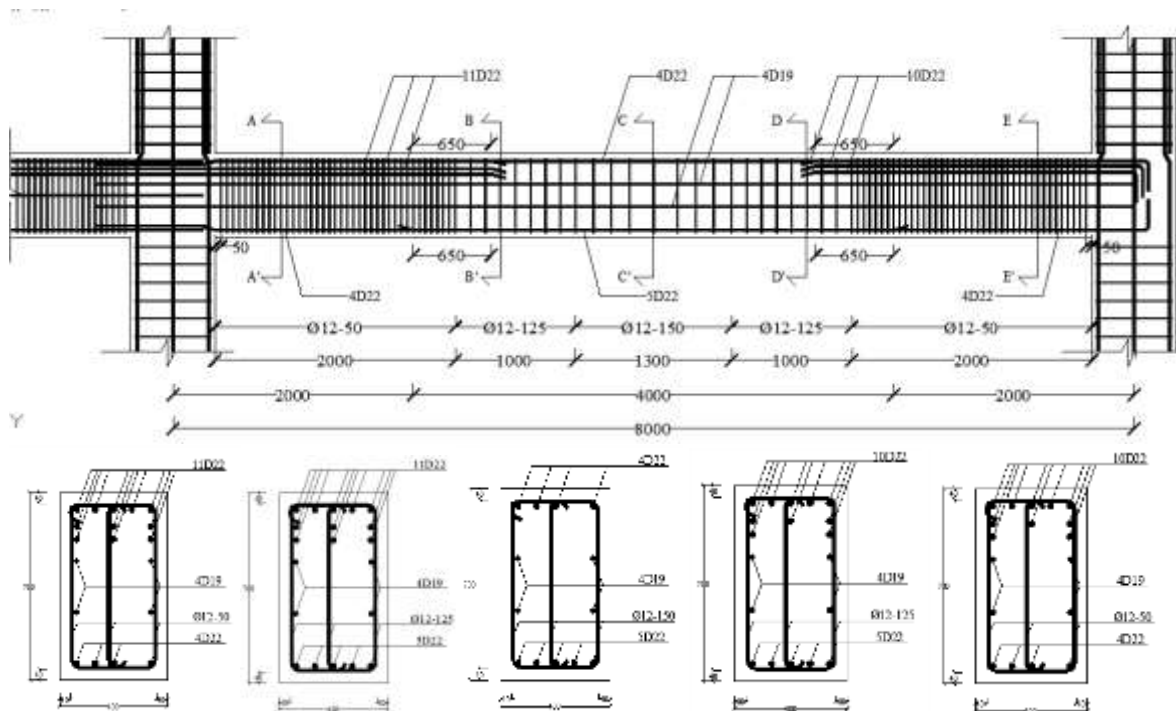
2. Spasi sengkang harus ditempatkan $\leq 50 \text{ mm}$ dari muka komponen struktur penumpu

3. Spasi sengkang harus disediakan sepanjang panjang $\geq 2h$ diukur dari muka komponen struktur

Kontrol spasi tulangan

$S_{\text{pakai}} < S_{\text{max}}$

$50 \text{ mm} < 152 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$



Gambar 4. 42 Penulangan Balok Induk 8 meter

4.2.4.2 Perhitungan Balok Bordes

A. Data Perencanaan

Perhitungan tulangan balok induk: **BB (40/50) As 9 (B-C)** elevasi ± 7 . Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut:

- o Data perencanaan tulangan balok

Tipe balok	: BB (40/50)
As Balok	: 9B-C, Z=2
Bentang Balok (L balok)	: 7000 mm
Dimensi balok (b balok)	: 400 mm
Dimensi balok (h balok)	: 500 mm
Bentang kolom (L kolom)	: 3500 mm
Dimensi kolom (b kolom)	: 700 mm
Dimensi kolom (h kolom)	: 700 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 25 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 240 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	: 240 MPa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 22 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	: 12 mm
Diameter tulangan puntir (\emptyset puntir)	: 22 mm
[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1]	
Jarak spasi tulangan antar lapis (S antar lapis):	25 mm
[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1]	
Tebal selimut beton (t decking)	: 40 mm
[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]	
Faktor β_1	: 0,85
[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]	
Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	: 0,9
[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1)]	
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75
[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]	

Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ) : 0,75

[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]

$$\begin{aligned} d &= h \text{ balok} - \text{selimut} - 1/2 \times \text{\O sengkang} \\ &= 500 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 0.5 \times 12 \text{ mm} \\ &= 440 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d'' &= \text{selimut} + \text{\O sengkang} + 1/2 \times D \text{ lentur} \\ &= 40 \text{ mm} + 12 \text{ mm} + 0.5 \times 22 \text{ mm} \\ &= 60 \text{ mm} \end{aligned}$$

B. Hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

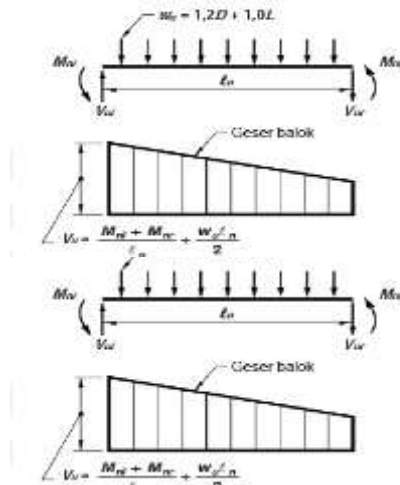
Untuk perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 1,0 Ex + 0,3 Ey adalah kombinasi kritis dalam pemodelan.

C. Syarat Gaya Aksial pada Balok

Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.2, bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi

$$\frac{A_g \times f_c'}{10} = \frac{400 \times 500 \times 25}{10} = 500000 \text{ N}$$

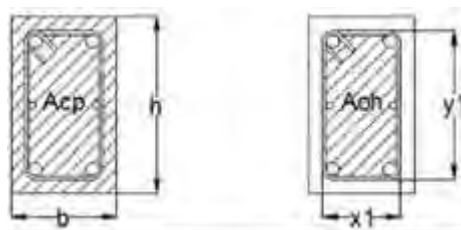
Berdasarkan SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3 mengenai Ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).



Gambar 4. 43 Bidang Geser Balok

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir

Ukuran penampang balok yang dipakai = 40/50



Gambar 4. 44 Penampang Balok

**Luasan yang dibatasi oleh keliling luar
irisan penampang beton**

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \text{ balok} \times h \text{ balok} \\ &= 400 \times 500 \\ &= 200000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parimeter luar irisan penampang beton Acp

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b \text{ balok} + h \text{ balok}) \\ &= 2 \times (400 \text{ mm} + 500 \text{ mm}) \\ &= 1800 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - \text{Øgeser}) \times (h \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - \text{Øgeser}) \\ &= (400 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - 12 \text{ mm}) \times (500 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - 12 \text{ mm}) \\ &= 117216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi tulangan sengkang terluar

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times [(b \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - \text{Øgeser}) + (h \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - \text{Øgeser})] \\ &= 2 \times [(400 - 2 \times 40 - 12) + (500 - 2 \times 40 - 12)] \\ &= 1384 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.2.4.2.1 Perhitungan Penulangan Torsi Memanjang

A. Perhitungan Tulangan Torsi Memanjang Tumpuan

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen torsi sebesar:

$$\text{COMB 1U} = 20677521 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{COMB 2U} &= 13950720 \text{ Nmm} \\
 \text{COMB 3U} &= 125514898 \text{ Nmm} \\
 \text{COMB 3U} &= 41652381 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen Torsi Ultimate

Akibat Kombinasi 3U yaitu kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 1,0 Ex + 0,3 Ey
 $T_u = 125514898 \text{ Nmm}$

Periksa Kebutuhan Tulangan Torsi

Syarat :

$$\begin{aligned}
 T_u &\leq \phi \times 0.083 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times \frac{A_{cp}}{P_{cp}} \\
 125514898 \text{ Nmm} &\leq 0.75 \times 0.083 \times 1 \times \sqrt{25} \times \frac{200000}{1800} \\
 125514898 \text{ Nmm} &\leq 6916667 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan torsi.

Direncanakan :

$$S = 50 \text{ mm (disamakan dengan s pada hitungan geser)}$$

$$\begin{aligned}
 A_t &= \frac{T_u \times s}{\phi \cdot 1.7 \cdot A_{oh} \cdot f_{yv} \cdot \cot \theta} \\
 &= \frac{125514898 \times 50}{(0.75 \times 1.7 \times 117216 \times 240 \times \cot 45)} \\
 &= 174.9673 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_l &= A_t \times \frac{P_h}{s} \times \frac{f_{yv}}{f_{y mem}} \times \cot \theta \\
 &= 174.9673 \times \frac{1384}{50} \times \frac{240}{400} \times \cot 45 \\
 &= 2905.857 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 0.-2847-2013 pasal 11.5.5.3 tulangan torsi memanjang minimum harus dihitung dengan ketentuan:

$$\begin{aligned}
 A_l \text{ min} &= (0.42 \times \sqrt{f'c'} \times \frac{A_{cp}}{f_{y \text{ mem}}}) / (A_t \times \frac{P_h}{s} \times \frac{f_{yv}}{f_{y \text{ mem}}}) \\
 &= (0.42 \times \sqrt{25} \times \frac{200000}{400}) / (174.9673 \times \frac{1384}{50} \times \frac{240}{400}) \\
 &= - 1855.86 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Al diambil dari nilai yang terbesar yaitu sebesar 2905.857 mm²

Luasan tulangan torsi memanjang dibagi merata ke empat sisi balok yaitu

$$\frac{1}{4} A_l = 726.4643 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang:

- Pada sisi atas disalurkan pada tulangan tarik balok
- Pada sisi bawah disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar 472.328 m²

Luasan tulangan torsi memanjang

$$\begin{aligned}
 A_l \text{ perlu} &= \frac{1}{2} \times A_l \\
 &= \frac{1}{2} \times 2905.857 \text{ mm}^2 \\
 &= 1452.929 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan :

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$n = 4 \text{ buah}$$

$$A_l \text{ pakai} = 1520.531 \text{ mm}^2$$

Periksa luasan tulangan

$$A_l \text{ pakai} > A_l \text{ perlu}$$

$$1520.531 \text{ mm}^2 > 1452.929 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Sehingga tulangan lentur memanjang terpasang adalah sebesar 4 D 22

B. Perhitungan Tulangan Torsi Memanjang Lapangan

- Kebutuhan tulangan torsi memanjang lapangan (1 meter)

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen torsi sebesar :

COMB 1U	= 6611699 Nmm
COMB 2U	= 4223975 Nmm
COMB 3U	= 52478194 Nmm
COMB 3U	= 27100753 Nmm

Momen Torsi Ultimate

Akibat Kombinasi 3U yaitu kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 1,0 Ex + 0,3 Ey.

$$Tu = 52478194 \text{ Nmm}$$

Periksa Kebutuhan Tulangan Torsi

Syarat :

$$Tu \leq \phi \times 0.083 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times \frac{A_{cp}}{P_{cp}}$$

$$88030116 \text{ Nmm} \leq 0.75 \times 0.083 \times 1 \times \sqrt{25} \times \frac{200000}{1800}$$

$$52478194 \text{ Nmm} \leq 6916667 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}$$

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan torsi.

Direncanakan :

s = 125 mm (disamakan dengan s pada hitungan geser)

$$\begin{aligned} A_t &= \frac{Tu \times s}{\phi \cdot 1.7 \cdot A_{oh} \cdot f_{yv} \cdot \cot \theta} \\ &= \frac{52478194 \times 125}{(0.75 \times 1.7 \times 117216 \times 240 \times \cot 45)} \\ &= 182.886 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- **Kebutuhan tulangan torsi memanjang lapangan (2 meter)**

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen torsi sebesar :

COMB 1U	= 1861951 Nmm
COMB 2U	= 1204825 Nmm
COMB 3U	= 21602419 Nmm
COMB 3U	= 17410358 Nmm

Momen Torsi Ultimate

Akibat Kombinasi 3U yaitu kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 1,0 Ex + 0,3 Ey.

$$T_u = 21602419 \text{ Nmm}$$

Periksa Kebutuhan Tulangan Torsi

Syarat :

$$T_u \leq \phi \times 0.083 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times \frac{A_{cp}}{p_{cp}}$$

$$21602419 \text{ Nmm} \leq 0.75 \times 0.083 \times 1 \times \sqrt{25} \times \frac{200000}{1800}$$

$$21602419 \text{ Nmm} \leq 6916667 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}$$

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan torsi.

Direncanakan :

S = 150 mm (disamakan dengan s pada hitungan geser)

$$\begin{aligned} A_t &= \frac{T_u \times s}{\phi \cdot 1.7 \cdot A_{oh} \cdot f_{yv} \cdot \cot \theta} \\ &= \frac{21602419 \times 150}{(0.75 \times 1.7 \times 117216 \times 240 \times \cot 45)} \\ &= 90.34 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- **Kebutuhan tulangan torsi memanjang lapangan (3 meter)**

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen torsi sebesar :

$$\begin{aligned}\text{COMB 1U} &= 738273 \text{ Nmm} \\ \text{COMB 2U} &= 286988 \text{ Nmm} \\ \text{COMB 3U} &= 10178355 \text{ Nmm} \\ \text{COMB 3U} &= 15739944 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Momen Torsi Ultimate

Akibat Kombinasi 3U yaitu kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 1,0 Ex + 0,3 Ey

$$Tu = 15739944 \text{ Nmm}$$

Periksa Kebutuhan Tulangan Torsi

Syarat :

$$\begin{aligned}Tu &\leq \phi \times 0.083 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times \frac{A_{cp}}{P_{cp}} \\ 15739944 \text{ Nmm} &\leq 0.75 \times 0.083 \times 1 \times \sqrt{25} \times \frac{200000}{1800} \\ 15739944 \text{ Nmm} &\leq 11091818 \text{ Nmm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}\end{aligned}$$

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan torsi.

Direncanakan :

$$S = 150 \text{ mm (disamakan dengan s pada hitungan geser)}$$

$$\begin{aligned}At &= \frac{Tu \times s}{\phi \cdot 1.7 \cdot A_{oh} \cdot f_{yv} \cdot \cot \theta} \\ &= \frac{15739944 \times 150}{(0.75 \times 1.7 \times 117216 \times 240 \times \cot 45)} \\ &= 65.83 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

4.2.4.2.2 Perhitungan Tulangan Lentur

A. Perhitungan Tulangan Lentur Daerah Tumpuan kanan (Momen Negatif)

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen sebesar :

COMB 1U= 82190319 Nmm

COMB 2U= 74429705 Nmm

COMB 3U= 175262091 Nmm

COMB 3U= 246694060 Nmm

Momen Ultimate

Akibat Kombinasi 3U yaitu kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 1,0

Ex + 0,3 Ey

Mu = 246694060 Nmm

Momen Nominal

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{246694060 \text{ Nmm}}{0.9} \\ &= 274104511 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{274104511}{400 \times 440} \\ &= 3.54 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0.85 \times f_c'} \\ &= \frac{400}{0.85 \times 25} \\ &= 18.82 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18.82 \times 3.54}{400}} \right) \\ &= 0.0097\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho \text{ min} &= 1.4/f_y \\ &= 1.4/400 \\ &= 0.0035\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho \text{ balance} &= \frac{0.85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0.85 \times 0.85 \times 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0.02709\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho \text{ max} &= 0.75 \times \rho \text{ balance} \\ &= 0.75 \times 0.027 \\ &= 0.02032\end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho \text{ min} < \rho \text{ perlu} < \rho \text{ max}$$

$$0.0035 < 0.0097 < 0.02032$$

→ Memenuhi

Luasan tulangan tarik yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b \times d_x \\ &= 0.0097 \times 400 \text{ mm} \times 640 \text{ mm} \\ &= 1714.629 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_s + \frac{1}{4} A_l &= 1714.629 \text{ mm}^2 + \frac{1}{4} \times 726.4643 \text{ mm}^2 \\ &= 2441.093 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Tulangan tarik yang digunakan adalah :

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$n = 7 \text{ mm}$$

$$A_s = 2660.929 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

As perlu < As pakai

$$2441.093 \text{ mm}^2 < 2660.929 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Luasan tulangan tekan yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned} As' &= 1/3 \times As \\ &= 1/3 \times 2660.929 \text{ mm}^2 \\ &= 886.9763 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan yang digunakan adalah :

$$\begin{aligned} D &= 22 \text{ mm} \\ n &= 4 \text{ mm} \\ As &= 1520.531 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luasan tulangan

As' perlu < As' pakai

$$886.9763 \text{ mm}^2 < 1520.531 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Spasi antar tulangan

$$\begin{aligned} s \text{ tarik} &= \frac{b \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset \text{sengkang} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 7 \times 22}{7-1} \\ &= 23.667 \text{ mm} \\ s \text{ tekan} &= \frac{b \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset \text{sengkang} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 4 \times 22}{4-1} \\ &= 69.33 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan

$$S_{\min} = 25 \text{ mm}$$

Kontrol spasi antar tulangan tarik

S pakai > S min

$$23.667 \text{ mm} < 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik belum terpenuhi, maka dipasang tulangan lentur tarik 2 lapis

Kontrol spasi antar tulangan tarik

$S_{pakai} > S_{min}$

$69.33 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$

→ Memenuhi

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tekan terpenuhi, maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

B. Perhitungan Tulangan Lentur Daerah Tumpuan Kanan (Momen Positif)

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen sebesar :

COMB 1U = - Nmm

COMB 2U = - Nmm

COMB 3U = 28037197 Nmm

COMB 3U = 99469165 Nmm

Momen Ultimate

Akibat Kombinasi 3U yaitu kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 1,0 Ex + 0,3 Ey

$M_u = 99469165 \text{ Nmm}$

Momen Nominal

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{99469165 \text{ Nmm}}{0.9} \\ &= 110521294 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{b \times d^2} \\ &= \frac{110521294}{400 \times 440} \\ &= 1.427 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{fy}{0.85 \times fc'} \\
 &= \frac{400}{0.85 \times 25} \\
 &= 18.82
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) \\
 &= \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18.82 \times 1.427}{400}} \right) \\
 &= 0.00369
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ min} &= 1.4/fy \\
 &= 1.4/400 \\
 &= 0.0035
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ balance} &= \frac{0.85 \times \beta_1 \times fc'}{fy} \left(\frac{600}{600 + fy} \right) \\
 &= \frac{0.85 \times 0.85 \times 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\
 &= 0.02709
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ max} &= 0.75 \times \rho \text{ balance} \\
 &= 0.75 \times 0.027 \\
 &= 0.02032
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho \text{ min} < \rho \text{ perlu} < \rho \text{ max}$$

$$0.0035 < 0.00369 < 0.02032$$

→ Memenuhi

Luasan tulangan tarik yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times dx \\
 &= 0.00369 \times 400 \text{ mm} \times 440 \text{ mm} \\
 &= 650.597 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s + \frac{1}{4} A_l &= 650.597 \text{ mm}^2 + \frac{1}{4} \times 726.4643 \text{ mm}^2 \\
 &= 1377.061 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan tarik yang digunakan adalah :

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$n = 4 \text{ mm}$$

$$A_s = 1520.53 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

$A_s \text{ perlu} < A_s \text{ pakai}$

$$1377.061 \text{ mm}^2 < 1520.53 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Luasan tulangan tekan yang dibutuhkan adalah:

$$A_s' = 1/3 \times A_s$$

$$= 1/3 \times 1520.53 \text{ mm}^2$$

$$= 506.844 \text{ mm}^2$$

Tulangan tekan yang digunakan adalah :

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$n = 7 \text{ mm}$$

$$A_s = 2660.929 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

$A_s' \text{ perlu} < A_s' \text{ pakai}$

$$506.844 \text{ mm}^2 < 2660.929 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Spasi antar tulangan

$$s \text{ tarik} = \frac{b \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset \text{sengkang} - n \times D \text{ lentur}}{n-1}$$

$$= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 4 \times 22}{4-1}$$

$$= 69.33 \text{ mm}$$

$$s \text{ tekan} = \frac{b \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset \text{sengkang} - n \times D \text{ lentur}}{n-1}$$

$$= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 7 \times 22}{7-1}$$

$$= 23.667 \text{ mm}$$

Syarat spasi antar tulangan

$$S \text{ min} = 25 \text{ mm}$$

Kontrol spasi antar tulangan tarik

$S_{pakai} > S_{min}$

$69.33 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$

→ Memenuhi

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik terpenuhi, maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

Kontrol spasi antar tulangan tarik

$S_{pakai} > S_{min}$

$23.667 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$

→ Tidak Memenuhi

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tekan belum terpenuhi, maka dipasang tulangan lentur tekan 2 lapis

C. Perhitungan Tulangan Lentur Daerah Lapangan (Momen Positif)

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen sebesar :

COMB 1U = 48212219 Nmm

COMB 2U = 40932557 Nmm

COMB 3U = 88335176 Nmm

COMB 3U = 63500462 Nmm

Momen Ultimate

Akibat Kombinasi 3U yaitu kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 1,0 Ex + 0,3 Ey

$M_u = 88335176 \text{ Nmm}$

Momen Nominal

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{88335176 \text{ Nmm}}{0.9} \\ &= 98150196 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{\frac{b \times d^2}{98150196}} \\
 &= \frac{400 \times 440}{98150196} \\
 &= 1.267
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0.85 \times f_{c'}} \\
 &= \frac{400}{0.85 \times 25} \\
 &= 18.82
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18.82 \times 1.267}{400}} \right) \\
 &= 0.003269
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{min}} &= 1.4/f_y \\
 &= 1.4/400 \\
 &= 0.0035
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{balance}} &= \frac{0.85 \times \beta_1 \times f_{c'}}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0.85 \times 0.85 \times 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\
 &= 0.02709
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{max}} &= 0.75 \times \rho_{\text{balance}} \\
 &= 0.75 \times 0.027 \\
 &= 0.02032
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$$

$$0.0035 < 0.003269 < 0.02032 \quad \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}$$

Karena ρ_{perlu} lebih kecil daripada ρ_{min} maka ρ yang digunakan adalah ρ_{min} yaitu 0.0035

Luasan tulangan tarik yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d_x \\ &= 0.0035 \times 400 \text{ mm} \times 440 \text{ mm} \\ &= 616 \text{ mm}^2 \\ A_s + \frac{1}{4} A_l &= 616 \text{ mm}^2 + \frac{1}{4} \times 726.4643 \text{ mm}^2 \\ &= 1342.464 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tarik yang digunakan adalah :

$$\begin{aligned} D &= 22 \text{ mm} \\ n &= 4 \text{ mm} \\ A_s &= 1520.531 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luasan tulangan

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &< A_s \text{ pakai} \\ 1342.464 \text{ mm}^2 &< 1520.531 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

Luasan tulangan tekan yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned} A_s' &= \frac{1}{3} \times A_s \\ &= \frac{1}{3} \times 1520.531 \text{ mm}^2 \\ &= 506.8436 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan yang digunakan adalah :

$$\begin{aligned} D &= 22 \text{ mm} \\ n &= 4 \text{ mm} \\ A_s &= 1520.531 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luasan tulangan

$$\begin{aligned} A_s' \text{ perlu} &< A_s' \text{ pakai} \\ 506.8436 \text{ mm}^2 &< 1520.531 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

Spasi antar tulangan

$$\begin{aligned}
 s \text{ tarik} &= \frac{b \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset \text{sengkang} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\
 &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 4 \times 22}{4-1} \\
 &= 69.33 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s \text{ tekan} &= \frac{b \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset \text{sengkang} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\
 &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 2 \times 22}{2-1} \\
 &= 252 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan

$$S \text{ min} = 25 \text{ mm}$$

Kontrol spasi antar tulangan tarik

$$S \text{ pakai} > S \text{ min}$$

$$69.3 \text{ mm} < 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik terpenuhi, maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

Kontrol spasi antar tulangan tekan

$$S \text{ pakai} > S \text{ min}$$

$$252 \text{ mm} < 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tekan terpenuhi, maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

D. Perhitungan Tulangan Lentur Daerah Lapangan (Momen Negatif)

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen sebesar:

$$\begin{aligned}\text{COMB 1U} &= - \text{Nmm} \\ \text{COMB 2U} &= - \text{Nmm} \\ \text{COMB 3U} &= 2199044 \text{ Nmm} \\ \text{COMB 3U} &= - \text{Nmm}\end{aligned}$$

Momen Ultimate

Akibat Kombinasi 3U yaitu kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 1,0 Ex + 0,3 Ey

$$Mu = 2199044 \text{ Nmm}$$

Momen Nominal

$$\begin{aligned}Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{2199044 \text{ Nmm}}{0.9} \\ &= 2443382 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Rn &= \frac{Mn}{b \times d^2} \\ &= \frac{2443382}{400 \times 440} \\ &= 0.0315\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{fy}{0.85 \times fc'} \\ &= \frac{400}{0.85 \times 25} \\ &= 18.82\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18.82 \times 0.0315}{400}} \right) \\ &= 0.000079\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= 1.4/f_y \\ &= 1.4/400 \\ &= 0.0035\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{balance}} &= \frac{0.85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0.85 \times 0.85 \times 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0.02709\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0.75 \times \rho_{\text{balance}} \\ &= 0.75 \times 0.027 \\ &= 0.02032\end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0.0035 &< 0.000079 < 0.02032 \quad \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}\end{aligned}$$

Karena ρ_{perlu} lebih kecil daripada ρ_{\min} maka ρ yang digunakan adalah ρ_{\min} yaitu 0.0035

Luasan tulangan tarik yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b \times d_x \\ &= 0.0035 \times 400 \text{ mm} \times 440 \text{ mm} \\ &= 616 \text{ mm}^2 \\ A_s + \frac{1}{4} A_l &= 616 \text{ mm}^2 + \frac{1}{4} \times 726.4643 \text{ mm}^2 \\ &= 1342.464 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Tulangan tarik yang digunakan adalah :

$$\begin{aligned}D &= 22 \text{ mm} \\ n &= 4 \text{ mm} \\ A_s &= 1520.531 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol luasan tulangan

$$\begin{aligned}A_s_{\text{perlu}} &< A_s_{\text{pakai}} \\ 1342.464 \text{ mm}^2 &< 1520.531 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}\end{aligned}$$

Luasan tulangan tekan yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned} A_s' &= 1/3 \times A_s \\ &= 1/3 \times 1520.531 \text{ mm}^2 \\ &= 506.8436 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan yang digunakan adalah :

$$\begin{aligned} D &= 22 \text{ mm} \\ n &= 4 \text{ mm} \\ A_s &= 1520.531 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luasan tulangan

$$\begin{aligned} A_s' \text{ perlu} &< A_s' \text{ pakai} \\ 506.8436 \text{ mm}^2 &< 1520.531 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

Spasi antar tulangan

$$\begin{aligned} s \text{ tarik} &= \frac{b \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset \text{sengkang} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 4 \times 22}{4-1} \\ &= 69.33 \text{ mm} \\ s \text{ tekan} &= \frac{b \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset \text{sengkang} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 4 \times 22}{4-1} \\ &= 69.33 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan

$$S_{\min} = 25 \text{ mm}$$

Kontrol spasi antar tulangan tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{pakai}} &> S_{\min} \\ 69.33 \text{ mm} &< 25 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik terpenuhi, maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

Kontrol spasi antar tulangan tarik

$S_{pakai} > S_{min}$

$69.33 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$

→ Memenuhi

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tekan terpenuhi, maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

E. Perhitungan Tulangan Lentur Daerah Lapangan (Momen Positif)

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen sebesar :

COMB 1U = 48212219 Nmm

COMB 2U = 40932557 Nmm

COMB 3U = 88335176 Nmm

COMB 3U = 63500462 Nmm

Momen Ultimate

Akibat Kombinasi 3U yaitu kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 1,0

$E_x + 0,3 E_y$

$M_u = 88335176 \text{ Nmm}$

Momen Nominal

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{88335176 \text{ Nmm}}{0.9} \\ &= 98150196 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{2443382}{400 \times 440} \\ &= 1.267 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_{c'}}$$

$$= \frac{400}{0.85 \times 25}$$

$$= 18.82$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18.82 \times 1.267}{400}} \right)$$

$$= 0.003269$$

$$\rho_{\text{min}} = 1.4/f_y$$

$$= 1.4/400$$

$$= 0.0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0.85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= \frac{0.85 \times 0.85 \times 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$= 0.02709$$

$$\rho_{\text{max}} = 0.75 \times \rho_{\text{balance}}$$

$$= 0.75 \times 0.027$$

$$= 0.02032$$

Syarat :

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$$

$$0.0035 < 0.003269 < 0.02032 \quad \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}$$

Karena ρ_{perlu} lebih kecil daripada ρ_{min} maka ρ yang digunakan adalah ρ_{min} yaitu 0.0035

Luasan tulangan tarik yang dibutuhkan adalah:

$$A_s = \rho \times b \times d_x$$

$$= 0.0035 \times 400 \text{ mm} \times 440 \text{ mm}$$

$$= 616 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_s + \frac{1}{4} A_l &= 616 \text{ mm}^2 + \frac{1}{4} \times 726.4643 \text{ mm}^2 \\ &= 1342.464 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tarik yang digunakan adalah :

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$n = 4$$

$$A_s = 1520.531 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

$A_s \text{ perlu} < A_s \text{ pakai}$

$$1342.464 \text{ mm}^2 < 1520.531 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Luasan tulangan tekan yang dibutuhkan adalah:

$$A_s' = \frac{1}{3} \times A_s$$

$$= \frac{1}{3} \times 1520.531 \text{ mm}^2$$

$$= 506.8436 \text{ mm}^2$$

Tulangan tekan yang digunakan adalah :

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$n = 4$$

$$A_s = 1520.531 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

$A_s' \text{ perlu} < A_s' \text{ pakai}$

$$506.8436 \text{ mm}^2 < 1520.531 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Spasi antar tulangan

$$\begin{aligned} s \text{ tarik} &= \frac{b \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset \text{sengkang} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 4 \times 22}{4-1} \\ &= 69.33 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s \text{ tekan} &= \frac{b \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset \text{sengkang} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 4 \times 22}{4-1} \\ &= 69.33 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan

$$S_{\min} = 25 \text{ mm}$$

Kontrol spasi antar tulangan tarik

$$S_{\text{pakai}} > S_{\min}$$

$$69.33 \text{ mm} < 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik terpenuhi, maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

Kontrol spasi antar tulangan tarik

$$S_{\text{pakai}} > S_{\min}$$

$$69.33 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tekan terpenuhi, maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

F. Perhitungan Tulangan Lentur Daerah Tumpuan kiri (Momen Negatif)

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen sebesar :

$$\text{COMB 1U} = 98286451 \text{ Nmm}$$

$$\text{COMB 2U} = 79401759 \text{ Nmm}$$

$$\text{COMB 3U} = 245419935 \text{ Nmm}$$

$$\text{COMB 3U} = 273005826 \text{ Nmm}$$

Momen Ultimate

Akibat Kombinasi 3U yaitu kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 1,0

$$E_x + 0,3 E_y$$

$$M_u = 273005826 \text{ Nmm}$$

Momen Nominal

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{Mu}{\phi} \\
 &= \frac{273005826 \text{ Nmm}}{0.9} \\
 &= 303339807 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\
 &= \frac{303339807}{400 \times 440} \\
 &= 3.92
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0.85 \times f_{c'}} \\
 &= \frac{400}{0.85 \times 25} \\
 &= 18.82
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18.82 \times 3.92}{400}} \right) \\
 &= 0.0104
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{min}} &= 1.4/f_y \\
 &= 1.4/400 \\
 &= 0.0035
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{balance}} &= \frac{0.85 \times \beta_1 \times f_{c'}}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0.85 \times 0.85 \times 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\
 &= 0.02709
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{max}} &= 0.75 \times \rho_{\text{balance}} \\
 &= 0.75 \times 0.027 \\
 &= 0.02032
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0.0035 < 0.0104 < 0.02032$$

→ Memenuhi

Luasan tulangan tarik yang dibutuhkan adalah:

$$A_s = \rho \times b \times d_x$$

$$= 0.0104 \times 400 \text{ mm} \times 440 \text{ mm}$$

$$= 1920.825 \text{ mm}^2$$

$$A_s + \frac{1}{4} A_l = 1920.825 \text{ mm}^2 + \frac{1}{4} \times 726.4643 \text{ mm}^2$$

$$= 2647.289 \text{ mm}^2$$

Tulangan tarik yang digunakan adalah :

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$n = 7 \text{ mm}$$

$$A_s = 2660.929 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

$$A_s_{\text{perlu}} < A_s_{\text{pakai}}$$

$$2647.289 \text{ mm}^2 < 2660.929 \text{ mm}^2$$

→ Memenuhi

Luasan tulangan tekan yang dibutuhkan adalah:

$$A_s' = \frac{1}{3} \times A_s$$

$$= \frac{1}{3} \times 2660.929 \text{ mm}^2$$

$$= 886.9763 \text{ mm}^2$$

Tulangan tekan yang digunakan adalah :

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$n = 4 \text{ mm}$$

$$A_s = 1520.531 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

$$A_s'_{\text{perlu}} < A_s'_{\text{pakai}}$$

$$886.9763 \text{ mm}^2 < 1520.531 \text{ mm}^2$$

→ Memenuhi

Spasi antar tulangan

$$\begin{aligned}
 s \text{ tarik} &= \frac{b \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset \text{senggang} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\
 &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 7 \times 22}{7-1} \\
 &= 23.667 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s \text{ tekan} &= \frac{b \text{ balok} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset \text{senggang} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\
 &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 4 \times 22}{4-1} \\
 &= 69.33 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan

$$S \text{ min} = 25 \text{ mm}$$

Kontrol spasi antar tulangan tarik

$$S \text{ pakai} > S \text{ min}$$

$$23.667 \text{ mm} < 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik belum terpenuhi, maka dipasang tulangan lentur tarik 2 lapis

Kontrol spasi antar tulangan tekan

$$S \text{ pakai} > S \text{ min}$$

$$69.33 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tekan terpenuhi, maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

G. Perhitungan Tulangan Lentur Daerah Tumpuan kiri (Momen Positif)

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP diperoleh momen sebesar :

$$\text{COMB 1U} = - \text{Nmm}$$

$$\text{COMB 2U} = - \text{Nmm}$$

$$\text{COMB 3U} = 67769066 \text{ Nmm}$$

$$\text{COMB 3U} = 95354957 \text{ Nmm}$$

Momen Ultimate

Akibat Kombinasi 3U yaitu kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 1,0
Ex + 0,3 Ey

$$Mu = 67769066 \text{ Nmm}$$

Momen Nominal

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{67769066 \text{ Nmm}}{0.9} \\ &= 105949952 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Rn &= \frac{Mn}{b \times d^2} \\ &= \frac{105949952}{400 \times 440} \\ &= 1.368 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{fy}{0.85 \times fc'} \\ &= \frac{400}{0.85 \times 25} \\ &= 18.82 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18.82 \times 1.368}{400}} \right) \\ &= 0.003538 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho \text{ min} &= 1.4/fy \\ &= 1.4/400 \\ &= 0.0035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{balance}} &= \frac{0.85 \times \beta_1 \times f_c' \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y} \\ &= \frac{0.85 \times 0.85 \times 25 \left(\frac{600}{600 + 400} \right)}{400} \\ &= 0.02709\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{max}} &= 0.75 \times \rho_{\text{balance}} \\ &= 0.75 \times 0.027 \\ &= 0.02032\end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}\rho_{\text{min}} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}} \\ 0.0035 &< 0.003538 < 0.02032 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}\end{aligned}$$

Tulangan tarik yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b \times d_x \\ &= 0.003538 \times 400 \text{ mm} \times 440 \text{ mm} \\ &= 622.7257 \text{ mm}^2 \\ A_s + \frac{1}{4} A_l &= 622.7257 \text{ mm}^2 + \frac{1}{4} \times 726.4643 \text{ mm}^2 \\ &= 1349.19 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Tulangan tarik yang digunakan adalah :

$$\begin{aligned}D &= 22 \text{ mm} \\ n &= 4 \text{ buah} \\ A_s &= 1520.53 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol luasan tulangan

$$\begin{aligned}A_s_{\text{perlu}} &< A_s_{\text{pakai}} \\ 1349.19 \text{ mm}^2 &< 1520.53 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}\end{aligned}$$

Luasan tulangan tekan yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned}A_s' &= \frac{1}{3} \times A_s \\ &= \frac{1}{3} \times 1520.53 \text{ mm}^2 \\ &= 506.844 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Tulangan tekan yang digunakan adalah :

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$n = 7 \text{ buah}$$

$$A_s = 2660.929 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

$A_s^{\text{perlu}} < A_s^{\text{pakai}}$

$$506.844 \text{ mm}^2 < 2660.929 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Spasi antar tulangan

$$\begin{aligned} s_{\text{tarik}} &= \frac{b_{\text{balok}} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset_{\text{sengkang}} - n \times D_{\text{lentur}}}{\frac{n-1}{4-1}} \\ &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 4 \times 22}{\frac{7-1}{4-1}} \\ &= 69.33 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_{\text{tekan}} &= \frac{b_{\text{balok}} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset_{\text{sengkang}} - n \times D_{\text{lentur}}}{\frac{n-1}{7-1}} \\ &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 7 \times 22}{\frac{7-1}{7-1}} \\ &= 23.667 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan

$$S_{\text{min}} = 25 \text{ mm}$$

Kontrol spasi antar tulangan tarik

$$S_{\text{pakai}} > S_{\text{min}}$$

$$69.33 \text{ mm} < 25 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik terpenuhi, maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

Kontrol spasi antar tulangan tarik

$$S_{\text{pakai}} > S_{\text{min}}$$

$$23.667 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tekan belum terpenuhi, maka dipasang tulangan lentur tekan 2 lapis

4.2.4.2.3 Perhitungan Geser

A. Data Perencanaan

Tipe balok	: BB (40/50)
As Balok	: 9 (B-C), Z=2
Bentang Balok (L balok)	: 7000 mm
Dimensi balok (b balok)	: 400 mm
Dimensi balok (h balok)	: 500 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 25 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_y)	: 240 MPa
Diameter tulangan geser (ϕ geser)	: 12 mm
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0.75

B. Perhitungan Geser Ultimate

Momen Nominal Kiri (M_{nl})

$$\begin{aligned}\text{Tulangan Tumpuan Kiri} &= 7 \text{ D } 22 \\ \text{As pakai} &= 2660.929 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T &= A_s \times f_y \\ &= 2660.929 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \\ &= 1064372 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &= \frac{T}{0.85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{1064372 \text{ N}}{0.85 \times 25 \times 400} \\ &= 125.2202 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{nl} &= T \times (d - a/2) \times \phi \\ &= 1064372 \text{ N} \times (440 - 125.2202/2) \times 0.75 \\ &= 401683095 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Momen Nominal Kanan (M_{nr})

$$\begin{aligned}\text{Tulangan Tumpuan Kanan} &= 4 \text{ D } 22 \\ \text{As pakai} &= 1520.53 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T &= A_s \times f_y \\ &= 1520.53 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \\ &= 608212.3377 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{T}{0.85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{608212.3377 \text{ N}}{0.85 \times 25 \times 400} \\
 &= 71.554 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{nr} &= T \times (d - a/2) \times \phi \\
 &= 608212.3377 \text{ N} \times (440 - 71.554/2) \times 0.75 \\
 &= 245853296 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Gaya Geser Terfaktor (V_u)

Gaya geser terfaktor tumpuan (V_u tumpuan)

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + \frac{W_u \cdot L_n}{2} \\
 &= \frac{401683095 + 245853296}{6300} + 66551 \\
 &= 169334.6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Gaya geser terfaktor jarak 1 meter (V_u 1 meter)

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + \frac{W_u \cdot (L_n - 2000)}{2} \\
 &= \frac{401683095 + 245853296}{6300} + 38746 \\
 &= 141529.6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Gaya geser terfaktor jarak 2 meter (V_u 2 meter)

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + \frac{W_u \cdot (L_n - 4000)}{2} \\
 &= \frac{401683095 + 245853296}{6300} + 19910 \\
 &= 122693.6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Gaya geser terfaktor jarak 3 meter (V_u 3 meter)

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + W_u \cdot \frac{L_n - 6000}{2} \\
 &= \frac{401683095 + 245853296}{6300} + 2497 \\
 &= 105280.6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

C. Perhitungan Geser akibat Lentur saja

Perhitungan Geser akibat Lentur daerah tumpuan

Diketahui :

$$V_u \text{ syarat SRPMM} = 169334.6 \text{ N}$$

$$V_u \text{ max} = 169334.6 \text{ N}$$

Menghitung Kuat Geser Beton (V_c)

$$\begin{aligned} V_c &= 0.17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\ &= 0.17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 400 \times 440 \\ &= 149600 \text{ N} \end{aligned}$$

Menghitung Kuat Geser Tulangan (V_s)

$$\begin{aligned} V_{s \text{ min}} &= 1/3 \times b_w \times d \\ &= 1/3 \times 400 \times 440 \\ &= 58666.67 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ max}} &= 0.33 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\ &= 0.33 \times \sqrt{25} \times 400 \times 440 \\ &= 293333.3 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2V_{s \text{ max}} &= 0.66 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\ &= 0.66 \times \sqrt{25} \times 400 \times 440 \\ &= 586666.7 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek Kondisi Perencanaan Geser

Kondisi 1

$$V_u < 0.5 \times \phi \times V_c$$

$$169334.6 \text{ N} < 56100 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}$$

Kondisi II

$$V_u < \phi \times V_c$$

$$169334.6 \text{ N} < 112200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}$$

Kondisi III

$$V_u < \phi \times (V_c + V_s)$$

$$169334.6 \text{ N} < 156200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}$$

Kondisi IV

$$V_u < \phi \times (V_c + \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d)$$

$$169334.6 \text{ N} < 332200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kondisi V

$$V_u < \phi \times (V_c + \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d)$$

$$169334.6 \text{ N} < 552200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Keterangan :

- Apabila perhitungan beban geser masuk dalam kondisi satu sampai tiga maka menggunakan tulangan geser minimum
- Apabila perhitungan beban geser masuk dalam kondisi empat sampai lima maka desain tulangan geser sesuai dengan perhitungan

Berdasarkan periksa kondisi beban geser, didapatkan bahwa tulangan geser balok masuk dalam kondisi 4,

Syarat spasi antar tulangan

$$d/2 = 220 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$s = 50 \text{ mm} \leq 220 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$\begin{aligned} A_v \text{ min} &= 0.35 \times b_w \times s / f_y \\ &= 0.35 \times 400 \times 50 / 400 \\ &= 29.1667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan geser minimum

$$\begin{aligned} V_s \text{ perlu} &= (V_u - \phi V_c) / \phi \\ &= (169334.6 - 0.75 \times 149600) / 0.75 \\ &= 76179.41 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_v \text{ perlu} &= \frac{V_s \times s}{f_y \times d} \\
 &= \frac{76179.41 \times 50}{400 \times 440} \\
 &= 36.069 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan Geser akibat Lentur daerah Lapangan (1 meter)

Diketahui :

$$V_u \text{ syarat SRPMM} = 141529.6 \text{ N}$$

$$V_u \text{ max} = 141529.6 \text{ N}$$

Menghitung Kuat Geser Beton (V_c)

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0.17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\
 &= 0.17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 400 \times 440 \\
 &= 149600 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Menghitung Kuat Geser Tulangan (V_s)

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ min} &= 1/3 \times b_w \times d \\
 &= 1/3 \times 400 \times 440 \\
 &= 58666.67 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ max} &= 0.33 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\
 &= 0.33 \times \sqrt{25} \times 400 \times 440 \\
 &= 293333.3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2V_s \text{ max} &= 0.66 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\
 &= 0.66 \times \sqrt{25} \times 400 \times 440 \\
 &= 586666.7 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek Kondisi Perencanaan Geser

Kondisi 1

$$V_u < 0.5 \times \phi \times V_c$$

$$141529.6 \text{ N} < 56100 \text{ N} \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}$$

Kondisi II

$$V_u < \phi \times V_c$$

$$141529.6 \text{ N} < 112200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}$$

Kondisi III

$$V_u < \phi \times (V_c + V_s)$$

$$141529.6 \text{ N} < 156200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kondisi IV

$$V_u < \phi \times (V_c + \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d)$$

$$141529.6 \text{ N} < 332200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kondisi V

$$V_u < \phi \times (V_c + \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d)$$

$$141529.6 \text{ N} < 552200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Keterangan :

- Apabila perhitungan beban geser masuk dalam kondisi satu sampai tiga maka menggunakan tulangan geser minimum
- Apabila perhitungan beban geser masuk dalam kondisi empat sampai lima maka desain tulangan geser sesuai dengan perhitungan

Berdasarkan pemeriksaan kondisi beban geser, didapatkan bahwa tulangan geser balok masuk dalam kondisi 3,

Syarat spasi antar tulangan

$$d/2 = 220 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$s = 125 \text{ mm} \leq 220 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$\begin{aligned} A_v \text{ min} &= 0.35 \times b_w \times s / f_y \\ &= 0.35 \times 400 \times 125 / 400 \\ &= 72.91667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan geser minimum

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ perlu} &= (V_u - \phi V_c) / \phi \\
 &= (141529.6 - 0.75 \times 149600) / 0.75 \\
 &= 39106.07 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_v \text{ perlu} &= \frac{V_s \times s}{f_y \times d} \\
 &= \frac{39106.07 \times 125}{400 \times 440} \\
 &= 46.29 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan Geser akibat Lentur daerah Lapangan (2 meter)

Diketahui :

$$\begin{aligned}
 V_u \text{ syarat SRPMM} &= 122693.6 \text{ N} \\
 V_u \text{ max} &= 122693.6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Menghitung Kuat Geser Beton (V_c)

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0.17 \times \lambda \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d \\
 &= 0.17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 400 \times 440 \\
 &= 149600 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Menghitung Kuat Geser Tulangan (V_s)

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ min} &= 1/3 \times b_w \times d \\
 &= 1/3 \times 400 \times 440 \\
 &= 58666.67 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ max} &= 0.33 \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d \\
 &= 0.33 \times \sqrt{25} \times 400 \times 440 \\
 &= 293333.3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2V_s \text{ max} &= 0.66 \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d \\
 &= 0.66 \times \sqrt{25} \times 400 \times 440 \\
 &= 586666.7 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek Kondisi Perencanaan Geser

Kondisi I

$$V_u < 0.5 \times \phi \times V_c$$

$$122693.6 \text{ N} < 56100 \text{ N} \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}$$

Kondisi II

$$V_u < \phi \times V_c$$

$$122693.6 \text{ N} < 112200 \text{ N} \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}$$

Kondisi III

$$V_u < \phi \times (V_c + V_s)$$

$$122693.6 \text{ N} < 156200 \text{ N} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kondisi IV

$$V_u < \phi \times (V_c + \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d)$$

$$122693.6 \text{ N} < 332200 \text{ N} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kondisi V

$$V_u < \phi \times (V_c + \frac{2}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d)$$

$$122693.6 \text{ N} < 552200 \text{ N} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Keterangan :

- Apabila perhitungan beban geser masuk dalam kondisi satu sampai tiga maka menggunakan tulangan geser minimum
- Apabila perhitungan beban geser masuk dalam kondisi empat sampai lima maka desain tulangan geser sesuai dengan perhitungan

Berdasarkan periksa kondisi beban geser, didapatkan bahwa tulangan geser balok masuk dalam kondisi 3,

Syarat spasi antar tulangan

$$d/2 = 220 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$s = 150 \text{ mm} \leq 220 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kebutuhan tulangan geser minimum

$$\begin{aligned}
 A_v \text{ min} &= 0.35 \times b_w \times s / f_y \\
 &= 0.35 \times 400 \times 125 / 400 \\
 &= 72.9167 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan Geser akibat Lentur daerah Lapangan (3 meter)

Diketahui :

$$\begin{aligned}
 V_u \text{ syarat SRPMM} &= 105280.6 \text{ N} \\
 V_u \text{ max} &= 105280.6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Menghitung Kuat Geser Beton (V_c)

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0.17 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d \\
 &= 0.17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 400 \times 440 \\
 &= 149600 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Menghitung Kuat Geser Tulangan (V_s)

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ min} &= 1/3 \times b_w \times d \\
 &= 1/3 \times 400 \times 440 \\
 &= 58666.67 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ max} &= 0.33 \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d \\
 &= 0.33 \times \sqrt{25} \times 400 \times 440 \\
 &= 293333.3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2V_s \text{ max} &= 0.66 \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d \\
 &= 0.66 \times \sqrt{25} \times 400 \times 440 \\
 &= 586666.7 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek Kondisi Perencanaan Geser

Kondisi 1

$$\begin{aligned}
 V_u &< 0.5 \times \phi \times V_c \\
 105280.6 \text{ N} &< 56100 \text{ N} \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Kondisi II

$$V_u < \phi \times V_c$$

$$105280.6 \text{ N} < 112200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kondisi III

$$V_u < \phi \times (V_c + V_s)$$

$$105280.6 \text{ N} < 156200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kondisi IV

$$V_u < \phi \times (V_c + \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d)$$

$$105280.6 \text{ N} < 332200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kondisi V

$$V_u < \phi \times (V_c + \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d)$$

$$105280.6 \text{ N} < 552200 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Keterangan :

- Apabila perhitungan beban geser masuk dalam kondisi satu sampai tiga maka menggunakan tulangan geser minimum
- Apabila perhitungan beban geser masuk dalam kondisi empat sampai lima maka desain tulangan geser sesuai dengan perhitungan

Berdasarkan periksa kondisi beban geser, didapatkan bahwa tulangan geser balok masuk dalam kondisi 4,

Syarat spasi antar tulangan

$$d/2 = 220 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$s = 150 \text{ mm} \leq 220 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kebutuhan tulangan geser minimum

$$A_v \text{ min} = 0.35 \times b_w \times s / f_y$$

$$= 0.35 \times 400 \times 150 / 400$$

$$= 87.5 \text{ mm}^2$$

D. Perhitungan Geser akibat Lentur dan Torsi

Perhitungan Geser akibat Lentur dan Torsi Tumpuan
Kebutuhan tulangan sengkang tertutup

$$\begin{aligned} A_v + 2A_t &= 36.06979 \text{ mm}^2 + (2 \times 174.9673 \text{ mm}^2) \\ &= 386.0044 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0.062 \times \sqrt{f'c'} \times bw \times \frac{s}{f_{yt}} &= 0.062 \times \sqrt{25} \times 400 \times \frac{50}{240} \\ &= 25.833 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0.35 \times bw \times \frac{s}{f_{yt}} &= 0.35 \times 400 \times \frac{50}{240} \\ &= 29.1667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

sehingga kebutuhan tulangan sengkang tertutup adalah
 386.0044 mm^2

Tulangan sengkang tertutup yang terpasang

$$A_v \text{ perlu} = 386.0044 \text{ mm}^2$$

Direncanakan :

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$S = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah kaki} = 4$$

$$A_v \text{ pakai} = 452.3893 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

$$A_v \text{ perlu} < A_v \text{ pakai}$$

$$386.0044 \text{ mm}^2 < 452.3893 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Syarat spasi tulangan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2

1. Spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- $d/4 = 110 \text{ mm}$
- $8 \times D = 176 \text{ mm}$
- $24 \times \emptyset = 288 \text{ mm}$

- 300 mm
- S max = 110 mm
- 2. Spasi sengkang harus ditempatkan ≤ 50 mm dari muka komponen struktur penumpu
- 3. Spasi sengkang harus disediakan sepanjang panjang $\geq 2h$ diukur dari muka komponen struktur

Kontrol spasi tulangan

S pakai < S max

50 mm < 110 mm \rightarrow Memenuhi

Perhitungan Geser akibat Lentur dan Torsi Lapangan (1 meter)

Kebutuhan tulangan sengkang tertutup

$$\begin{aligned} A_v + 2A_t &= 46.29033 \text{ mm}^2 + (2 \times 174.9673 \text{ mm}^2) \\ &= 438.6888 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0.062 \times \sqrt{f'c'} \times bw \times \frac{s}{f_{yt}} &= 0.062 \times \sqrt{25} \times 400 \times \frac{50}{240} \\ &= 25.833 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0.35 \times bw \times \frac{s}{f_{yt}} &= 0.35 \times 400 \times \frac{50}{240} \\ &= 29.1667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

sehingga kebutuhan tulangan sengkang tertutup adalah 438.6888 mm²

Tulangan sengkang tertutup yang terpasang

$$A_v \text{ perlu} = 438.6888 \text{ mm}^2$$

Direncanakan :

Ø = 12 mm

S = 125 mm

Jumlah kaki = 4

$$A_v \text{ pakai} = 452.3893 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

$$A_v \text{ perlu} < A_v \text{ pakai}$$

$$438.6888 \text{ mm}^2 < 452.3893 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Syarat spasi tulangan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.5.1

1. Spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

$$- d/2 = 220 \text{ mm}$$

$$- 600 \text{ mm}$$

$$S_{\text{max}} = 220 \text{ mm}$$

2. Spasi sengkang harus ditempatkan $\leq 50 \text{ mm}$ dari muka komponen struktur penumpu

3. Spasi sengkang harus disediakan sepanjang panjang $\geq 2h$ diukur dari muka komponen struktur

Kontrol spasi tulangan

$$S_{\text{pakai}} < S_{\text{max}}$$

$$125 \text{ mm} < 220 \text{ mm} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Perhitungan Geser akibat Lentur dan Torsi Lapangan (2 meter)

Kebutuhan tulangan sengkang tertutup

$$\begin{aligned} A_v + 2A_t &= 87.5 \text{ mm}^2 + (2 \times 174.9673 \text{ mm}^2) \\ &= 268.1822 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0.062 \times \sqrt{f'c'} \times bw \times \frac{s}{f_{yt}} &= 0.062 \times \sqrt{25} \times 400 \times \frac{150}{240} \\ &= 77.5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0.35 \times bw \times \frac{s}{f_{yt}} &= 0.35 \times 400 \times \frac{150}{240} \\ &= 87.5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

sehingga kebutuhan tulangan sengkang tertutup adalah
 268.1822 mm^2

Tulangan sengkang tertutup yang terpasang

$$A_v \text{ perlu} = 268.1822 \text{ mm}^2$$

Direncanakan :

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$S = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah kaki} = 3$$

$$A_v \text{ pakai} = 339.292 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

$$A_v \text{ perlu} < A_v \text{ pakai}$$

$$268.1822 \text{ mm}^2 < 339.292 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Syarat spasi tulangan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.5.1

1. Spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

$$- d/2 = 220 \text{ mm}$$

$$- 600 \text{ mm}$$

$$S_{\text{max}} = 220 \text{ mm}$$

2. Spasi sengkang harus ditempatkan $\leq 50 \text{ mm}$ dari muka komponen struktur penumpu

3. Spasi sengkang harus disediakan sepanjang panjang $\geq 2h$ diukur dari muka komponen struktur

Kontrol spasi tulangan

$$S_{\text{pakai}} < S_{\text{max}}$$

$$150 \text{ mm} < 220 \text{ mm}$$

\rightarrow Memenuhi

***Perhitungan Geser akibat Lentur dan Torsi Lapangan
(3 meter)***

Kebutuhan tulangan sengkang tertutup

$$\begin{aligned} A_v + 2A_t &= 87.5 \text{ mm}^2 + (2 \times 174.9673 \text{ mm}^2) \\ &= 219.1486 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0.062 \times \sqrt{f'c'} \times bw \times \frac{s}{f_{yt}} &= 0.062 \times \sqrt{25} \times 400 \times \frac{150}{240} \\ &= 77.5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0.35 \times bw \times \frac{s}{f_{yt}} &= 0.35 \times 400 \times \frac{150}{240} \\ &= 87.5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

sehingga kebutuhan tulangan sengkang tertutup adalah
219.1486 mm²

Tulangan sengkang tertutup yang terpasang

$$A_v \text{ perlu} = 219.1486 \text{ mm}^2$$

Direncanakan :

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$S = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah kaki} = 2$$

$$A_v \text{ pakai} = 226.1947 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

$$A_v \text{ perlu} < A_v \text{ pakai}$$

$$219.1486 \text{ mm}^2 < 226.1947 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Syarat spasi tulangan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.5.1

1. Spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

$$- d/2 = 220 \text{ mm}$$

$$- 600 \text{ mm}$$

$$S \text{ max} = 220 \text{ mm}$$

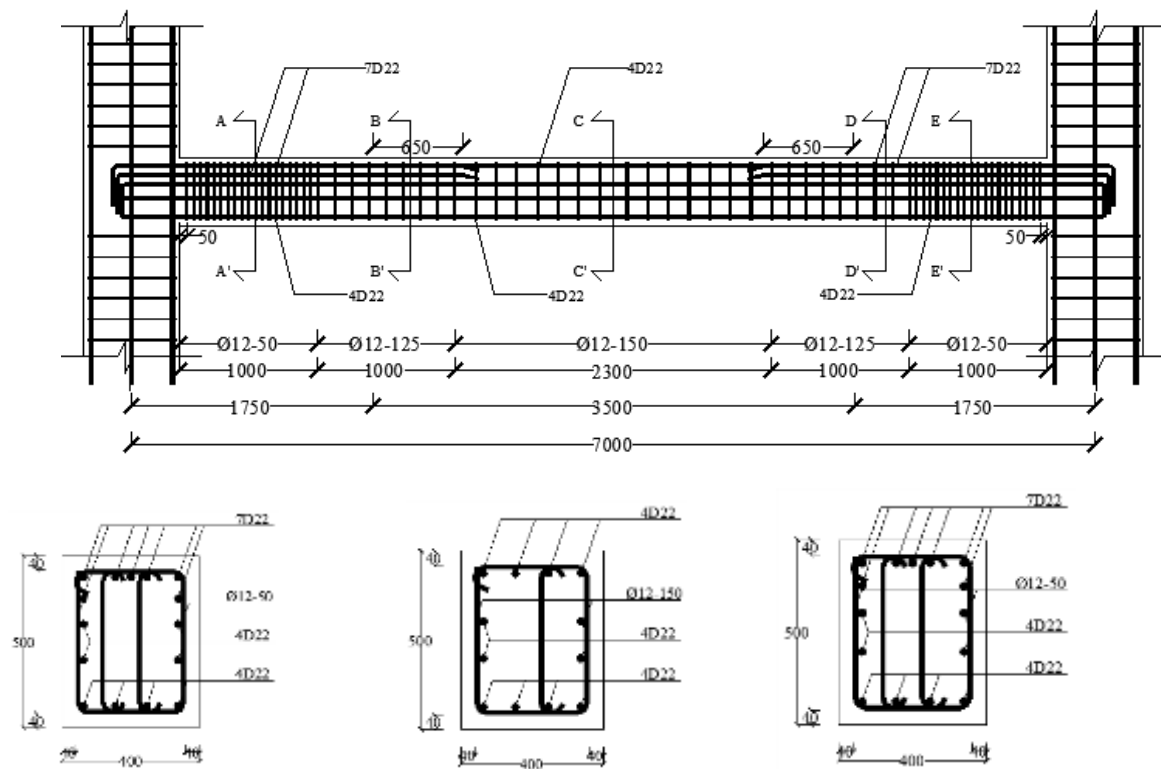
2. Spasi sengkang harus ditempatkan ≤ 50 mm dari muka komponen struktur penumpu
3. Spasi sengkang harus disediakan sepanjang panjang $\geq 2h$ diukur dari muka komponen struktur

Kontrol spasi tulangan

$S_{\text{pakai}} < S_{\text{max}}$

$150 \text{ mm} < 220 \text{ mm}$

→ Memenuhi



4.2.5 Perhitungan Kolom

4.2.5.1 Perhitungan Kolom K1

Berikut ini akan dibahas perhitungan penulangan kolom berdasarkan P_u ultimate terbesar, sebagai contoh perhitungan diambil kolom struktur As C-7 pada lantai 1 ($Z=0$). Perhitungan berikut disertai dengan data perencanaan, gambar denah kolom, output SAP 2000, ketentuan perhitungan dan syarat-syarat penulangan kolom dalam metode SRPMM, sampai dengan hasil akhir gambar penampang kolom adalah sebagai berikut:

4.2.5.1.1 Perhitungan Lentur Kolom

A. Data Perencanaan

Tipe Kolom	: Frame 710
As Kolom	: C - 7 ($Z=0$)
Bentang Balok (L balok)	: 8000 mm
Tinggi Kolom Atas (L kolom)	: 4000 mm
Tinggi Kolom Bawah (L kolom)	: 3500 mm
Dimensi kolom (b kolom)	: 700 mm
Dimensi kolom (h kolom)	: 700 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 25 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 240 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	: 240 MPa
Modulus Elastisitas Beton (E_c)	: $4700 \sqrt{f_c'}$
Modulus Elastisitas Baja (E_s)	: 200000 Mpa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 22 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	: 12 mm
Diameter tulangan puntir (\emptyset puntir)	: 22 mm
[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1]	
Jarak spasi tulangan antar lapis (S antar lapis):	25 mm
[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1]	
Tebal selimut beton (t decking)	: 40 mm
[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]	
Faktor β_1	: 0,85

[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]

Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) : 0,8

[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1)]

Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) : 0,75

[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]

$$\begin{aligned} d &= b \text{ kolom} - \text{selimut} - 1/2 \times \text{Øsengkang} \\ &= 700 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 0.5 \times 10 \text{ mm} \\ &= 635.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{selimut} + \text{Øsengkang} + 1/2 \times D \text{ lentur} \\ &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + 0.5 \times 29 \text{ mm} \\ &= 64.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d'' &= d - \frac{1}{2} b \\ &= 700 \text{ mm} - \frac{1}{2} 635.5 \text{ mm} \\ &= 285.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

B. Output SAP 2000

Kolom C-7 (Z=0) Frame 710

Berdasarkan hasil output diagram aksial pada SAP diperoleh aksial sebesar:

$$\text{COMB 1U} = 4954578.31 \text{ N}$$

$$\text{COMB 2U} = - \text{N}$$

$$\text{COMB 3U} = - \text{N}$$

$$\text{COMB 3U} = - \text{N}$$

Aksial Ultimate

Akibat Kombinasi 1U yaitu kombinasi 1.2D + 1.6L

$$P = 4954578.31 \text{ N}$$

Berdasarkan hasil output diagram momen pada SAP diperoleh M1ns sebesar :

$$\text{COMB 1U} = 15340299 \text{ Nmm}$$

$$\text{COMB 2U} = - \text{Nmm}$$

$$\text{COMB 3U} = - \text{Nmm}$$

$$\text{COMB 3U} = - \text{Nmm}$$

Momen M1ns

Akibat Kombinasi 1U yaitu kombinasi 1.2D + 1.6L

$M1ns = 15340299 \text{ Nmm}$ (M1 Non-Sway)

Berdasarkan hasil output diagram momen pada SAP diperoleh M2ns sebesar:

COMB 1U = 25640617 Nmm

COMB 2U = - Nmm

COMB 3U = - Nmm

COMB 3U = - Nmm

Momen M2ns

Akibat Kombinasi 1U yaitu kombinasi 1.2D + 1.6L

$M2ns = 25640617 \text{ Nmm}$ (M1 Sway)

Berdasarkan hasil output diagram aksial pada SAP diperoleh aksial sebesar:

COMB 1.2D = 3692027 N

Berdasarkan hasil output diagram momen pada SAP diperoleh M1ns sebesar:

COMB 1U = - Nmm

COMB 2U = - Nmm

COMB 3U = 125528335 Nmm

COMB 3U = 402240385 Nmm

Momen M1s

Akibat Kombinasi 3U yaitu kombinasi 1.2D + 1L + Ex + 0.3Ey

$M1s = 402240385 \text{ Nmm}$ (M2 Non-Sway)

Berdasarkan hasil output diagram momen pada SAP diperoleh M2ns sebesar:

$$\text{COMB 1U} = - \text{Nmm}$$

$$\text{COMB 2U} = - \text{Nmm}$$

$$\text{COMB 3U} = 178132836 \text{ Nmm}$$

$$\text{COMB 3U} = 462000945 \text{ Nmm}$$

Momen M2s

Akibat Kombinasi 1U yaitu kombinasi 1.2D + 1L + Ex + 0.3Ey

$$M2s = 462000945 \text{ Nmm (M2 Sway)}$$

C. Perhitungan

Kontrol Gaya Aksial

$$\frac{Ag \cdot f_c'}{10} \leq Pu$$

$$\frac{700 \times 700 \times 25}{10} \leq 4954578.31 \text{ N}$$

→ Memenuhi

Kontrol Kelangsingan Kolom

$$\beta d = \frac{Pu (1.2D)}{Pu (1.2D + 1.6L)}$$

$$\beta d = \frac{3692027 \text{ N}}{4954578.31 \text{ N}}$$

$$\beta d = 0.745$$

Perhitungan Kekakuan Kolom 70/70

Bentang kolom 4 meter

$$- Ig = \frac{1}{12} x b x h^3$$

$$Ig = \frac{1}{12} x 700 x 700^3$$

$$Ig = 20008333333 \text{ mm}^4$$

$$- Ec = 4700 \sqrt{f_c'}$$

$$Ec = 4700 \sqrt{25}$$

$$Ec = 23500 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad Elk &= \frac{0.4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta d} \\
 Elk &= \frac{0.4 \times 23500 \times 2000833333}{1 + 0.745} \\
 Elk &= 107770483039925 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Perhitungan Kekakuan Balok 40/70

Bentang balok 7 meter

$$\begin{aligned}
 - \quad Ig &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 \\
 Ig &= \frac{1}{12} \times 400 \times 700^3 \\
 Ig &= 11433333333 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad Ec &= 4700 \sqrt{fc'} \\
 Ec &= 4700 \sqrt{25} \\
 Ec &= 23500 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad Elk &= \frac{0.4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta d} \\
 Elk &= \frac{0.4 \times 23500 \times 1143333333}{1 + 0.745} \\
 Elk &= 61583133165671.6 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Perhitungan Kekakuan Kolom 70/70

Bentang kolom 3 meter

$$\begin{aligned}
 - \quad Ig &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 \\
 Ig &= \frac{1}{12} \times 700 \times 700^3 \\
 Ig &= 20008333333 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad Ec &= 4700 \sqrt{fc'} \\
 Ec &= 4700 \sqrt{25} \\
 Ec &= 23500 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$- \quad Elk = \frac{0.4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta d}$$

$$Elk = \frac{0.4 \times 23500 \times 20008333333}{1 + 0.745}$$

$$Elk = 107770483039925 \text{ mm}^4$$

Perhitungan Kekakuan Balok 40/70

Bentang balok 7 meter

$$- Ig = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$Ig = \frac{1}{12} \times 400 \times 700^3$$

$$Ig = 11433333333 \text{ mm}^4$$

$$- Ec = 4700\sqrt{fc'}$$

$$Ec = 4700\sqrt{25}$$

$$Ec = 23500 \text{ N}$$

$$- Elk = \frac{0.4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta d}$$

$$Elk = \frac{0.4 \times 23500 \times 11433333333}{1 + 0.745}$$

$$Elk = 61583133165671.6 \text{ mm}^4$$

Perhitungan Kekakuan Kolom 70/70

Bentang kolom 3.5 meter

$$- Ig = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$Ig = \frac{1}{12} \times 700 \times 700^3$$

$$Ig = 20008333333 \text{ mm}^4$$

$$- Ec = 4700\sqrt{fc'}$$

$$Ec = 4700\sqrt{25}$$

$$Ec = 23500 \text{ N}$$

$$- Elk = \frac{0.4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta d}$$

$$Elk = \frac{0.4 \times 23500 \times 20008333333}{1 + 0.745}$$

$$Elk = 107770483039925 \text{ mm}^4$$

Perhitungan Kekakuan Ujung Kolom

Ujung Bawah (Ψ_B)

$$= \frac{EI_{\text{Kolom}}/L}{EI_{\text{Balok}}/L}$$

$$= \frac{\frac{107770483039925 \text{ mm}^4}{4000} + \frac{107770483039925 \text{ mm}^4}{4000}}{\frac{61583133165671.6 \text{ mm}^4}{7000}}$$

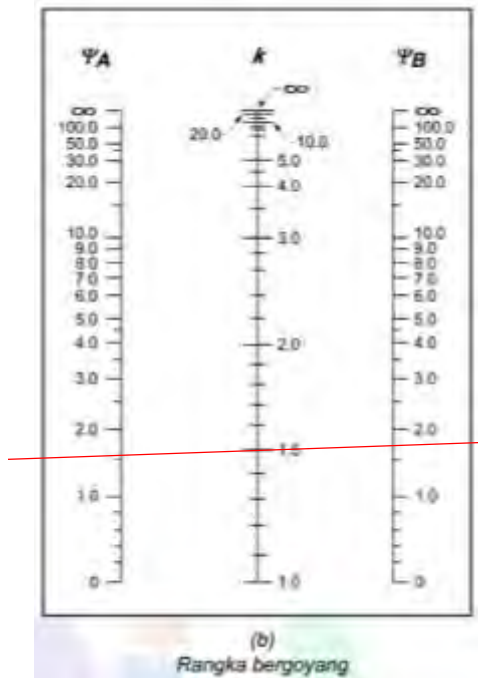
$$= 1.79$$

Ujung Atas (Ψ_A)

$$= \frac{EI_{\text{Kolom}}/L}{EI_{\text{Balok}}/L}$$

$$= \frac{\frac{107770483039925 \text{ mm}^4}{4000}}{\frac{61583133165671.6 \text{ mm}^4}{7000}}$$

$$= 1.64$$



Gambar 4. 45 Faktor Kekakuan Kolom

Dari grafik faktor panjang kekakuan, didapatkan nilai $k = 1.5$

Kontrol Kelangsingan Kolom

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{\frac{I}{A}} \\ &= \sqrt{\frac{20008333333 \text{ mm}^4}{700 \times 700}} \\ &= 202.072 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\frac{k \cdot Lu}{r} \geq 22$$

$$\frac{1.5 \cdot 4000}{202.072} \geq 22$$

$$29.69 \geq 22$$

→ Kolom Langsing

Perhitungan Pembesaran Momen

Jumlah kolom 1 lantai = 36 buah

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{\pi^2 EI}{\frac{k \cdot Lu}{r}} \\ &= \frac{\pi^2 107770483039925 \text{ mm}^4}{29.69} \\ &= 29545889.83 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum P_c &= 29545889.83 \text{ N} \times 36 \\ &= 1063652034 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u &= 4954578.31 \text{ N} \\ &= 4954.578 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum P_u &= 4954578.31 \text{ N} \times 36 \\ &= 178364819.2 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\delta_s = \frac{\sum P_u}{0.75 \times \sum P_c}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{178364819.2 \text{ N}}{0.75 \times 1063652034 \text{ N}} \\
 &= 1.29
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\delta_s > 1$$

$$t_{1.29} > 1 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$\begin{aligned}
 M1 &= M1_{ns} + \delta_s M1_s \\
 &= 15340299 \text{ Nmm} + 402240385 \text{ Nmm} \\
 &= 533416204 \text{ Nmm} \\
 &= 533.42 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M2 &= M2_{ns} + \delta_s M2_s \\
 &= 462000945 \text{ Nmm} + 25640617 \text{ Nmm} \\
 &= 620686681 \text{ Nmm} \\
 &= 620.69 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

Momen yang digunakan adalah momen yang terbesar yaitu:

$$Mu = 620686681 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 e &= \frac{Mu}{Pu} \\
 &= \frac{620686681 \text{ Nmm}}{4954578.31 \text{ N}} \\
 &= 125.27 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mu h &= h \text{ kolom} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset \text{sengkang} - \text{Dlentur} \\
 &= 700 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 29 \\
 &= 571 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mu &= \frac{\mu h}{h \text{ kolom}} \\
 &= \frac{572}{700} \\
 &= 0.8
 \end{aligned}$$

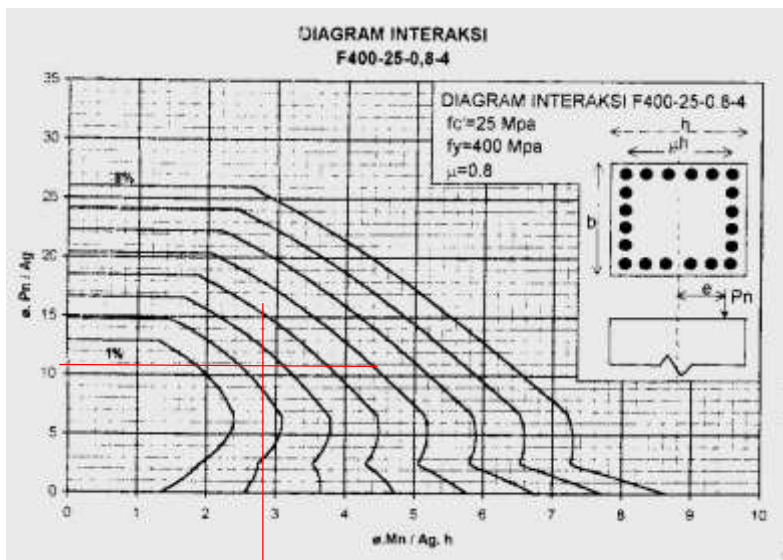
Input pada diagram interaksi

- Sumbu Horizontal
 $M_u = 620686681 \text{ Nmm}$

$$X = \frac{M_u}{b h^2} = \frac{620686681 \text{ Nmm}}{700 \cdot 700^2} = 1.81$$

- Sumbu Vertikal
 $P_u = 4954578.31 \text{ N}$

$$Y = \frac{P_u}{b \cdot h} = \frac{4954578.31 \text{ N}}{700 \cdot 700} = 10.1$$



Gambar 4. 46 Diagram Interaksi

Berdasarkan diagram interaksi didapatkan $\rho = 1\%$

Luasan tulangan yang diperlukan:

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= \rho \times b \times h \\
 &= 0.01 \times 700 \times 700 \\
 &= 4900 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan :

$$\begin{aligned}
 D &= 29 \text{ mm} \\
 A_s \text{ pakai} &= 660.52 \text{ mm}^2 \\
 n &= 4900 \text{ mm}^2 / 660.52 \text{ mm}^2 \\
 &= 7.4 \approx 8 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Sehingga penulangan lentur kolom digunakan tulangan 8D29

Kontrol Luasan Tulangan

As pakai > As perlu

$$5284.16 \text{ mm}^2 > 4900 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Presentase Luasan Tulangan

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ terpasang} &= \frac{A_s \text{ pakai}}{b \times h} \\
 &= \frac{5284.16 \text{ mm}^2}{700 \times 700} \\
 &= 1.078\%
 \end{aligned}$$

Menentukan e perlu dan e min

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{620686681 \text{ Nmm}}{0.65} \\
 &= 710770684.6 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_n &= \frac{P_u}{\phi} \\
 &= \frac{4954578.31 \text{ N}}{0.65} \\
 &= 7622428.169 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e &= \frac{M_u}{P_u} \\
 &= \frac{620686681 \text{ Nmm}}{4954578.31 \text{ N}} \\
 &= 93.25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_{\min} &= 15.24 + 0.03 h \\
 &= 15.24 + 0.03 \times 500 \text{ mm} \\
 &= 36.24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol e_{\min}

$e_{\text{perlu}} > e_{\min}$

$$93.25 \text{ mm} > 36.24 \text{ mm}$$

→ Memenuhi

Periksa kondisi Tekan menentukan atau Tarik menentukan

Cek kondisi balance:

$$\begin{aligned}
 X_b &= \frac{600}{600 + f_y} \times d \\
 &= \frac{600}{600 + 400} \times 640 \\
 &= 381.3 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_b &= \beta_1 \times X_b \\
 &= 0.85 \times 381.3 \text{ mm} \\
 &= 324.105 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_s' &= A_s' \times (f_y - 0.85 f_c') \\
 &= 5284.16 \times (400 - 0.85 \times 25) \\
 &= 2001375.2 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_c' &= 0.85 \times f_c' \times a_b \times b \\
 &= 0.85 \times 25 \times 324.105 \times 700 \\
 &= 4821061.9 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \times f_y \\
 &= 5284.16 \times 400 \\
 &= 2113663.5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\sum V = 0$$

$$\begin{aligned}
 P_b &= C_c' + C_s' - T \\
 &= 4821061.9 \text{ N} + 2001375.2 \text{ N} - 2113663.5 \text{ N} \\
 &= 4708773.5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_b &= C_c'(d - d'' - a_b/2) + C_s'(d - d' - d'') + T \cdot d'' \\
 &= 2080950075 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$M_b = P_b \times e_b$$

$$\begin{aligned}
 e_b &= \frac{M_b}{P_b} \\
 &= \frac{2080950075 \text{ Nmm}}{4708773.5 \text{ N}} \\
 &= 441.93 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol kondisi:

- Kondisi Tekan Menentukan

$$e < e_b$$

$$93.2473 \text{ mm} < 441.93 \text{ mm}$$

→ Memenuhi

- Kondisi Tarik Menentukan

$$e > e_b$$

$$93.2473 \text{ mm} > 441.93 \text{ mm}$$

→ Tidak Memenuhi

Sehingga Kolom 70/70 bentang 4 meter dalam kondisi Tekan

Kondisi Tekan menentukan

Mencari nilai x :

$$a = 0.54d$$

$$0.85 x = 0.54d$$

$$X = 0.54d/0.85$$

$$= 403.73 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_s &= \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \times 0.003 \\
 &= \left(\frac{640}{403.73} - 1 \right) \times 0.003 \\
 &= 0.0017
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_s &= \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \times 600 \\
 &= \left(\frac{640}{403.73} - 1 \right) \times 600 \\
 &= 344.44
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\
 &= \frac{400}{200000} \\
 &= 0.002
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y$$

$$0.0017 < 0.002$$

→ Memenuhi

$$f_s < f_y$$

$$344.44 < 400$$

→ Memenuhi

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' \times (f_y - 0.85f_c') \\ &= 5284.16 \times (400 - 0.85 \times 25) \\ &= 2001375.2 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0.85 \times f_c' \times \beta \times b \times X \\ &= 0.85 \times 25 \times 0.85 \times 700 \times 403.73 \\ &= 5104653.8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s \times f_y \\ &= 5284.16 \times 400 \\ &= 2113663.5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\sum V = 0$$

$$\begin{aligned} P_b &= C_c' + C_s' - T \\ &= 5104653.8 \text{ N} + 2001375.2 \text{ N} - 2113663.5 \text{ N} \\ &= 4992365.4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_b &= C_c'(d-d''-ab/2) + C_s'(d-d'-d'') + T.d'' \\ &= 2085590347 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol Spasi Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{\text{Tarik}} &= b - 2x_{\text{selimut}} - 2x_{\text{geser}} - \frac{n \times D_{\text{lentur}}}{n-1} \\ &= 700 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - \frac{8 \times 29}{8-1} \\ &= 256.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

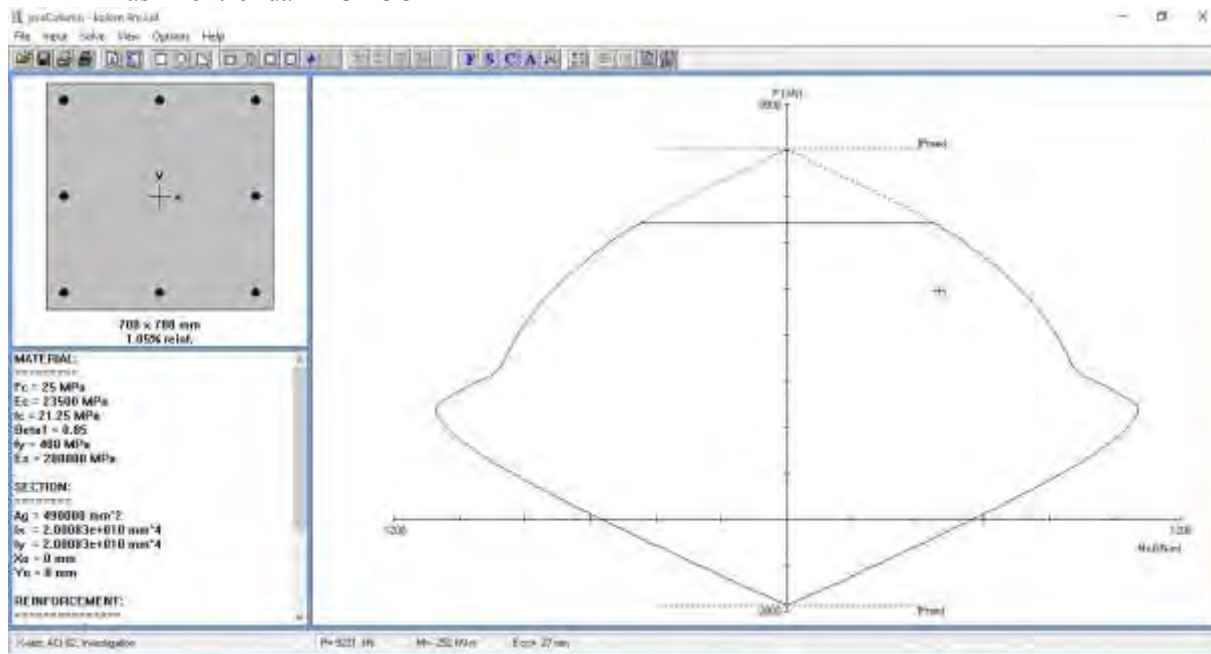
Syarat :

$$S_{\text{maks}} > 40 \text{ mm}$$

$$256.5 \text{ mm} > 40 \text{ mm}$$

→ Memenuhi

Hasil kontrol dari PCACOL



Gambar 4. 47 Hasil PCACOL kolom

4.2.5.1.2 Perhitungan Geser Kolom

Diketahui :

Hasil Output PCACOL

$M_{nx} = 715400000 \text{ Nmm}$

$L_n = 3300 \text{ mm}$

Gaya geser yang terjadi:

$$\begin{aligned} V_u &= 2 \times M_{nx} / L_n \\ &= 433576 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat kuat geser beton:

$$\sqrt{f'c'} \leq \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{25} \leq 8.333$$

$$5 \leq 8.333$$

→ Memenuhi

Menghitung Kuat Geser Beton (V_c)

$$\begin{aligned} V_c &= 0.17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times b_o \times d \\ &= 0.17 \left(1 + \frac{4954578.31}{14 \times 700 \times 700} \right) \times 1 \times \sqrt{25} \times 700 \times 640 \\ &= 651218.35 \text{ N} \end{aligned}$$

Menghitung Kuat Geser Tulangan (V_s)

$$\begin{aligned} V_{s \text{ min}} &= 1/3 \times b_w \times d \\ &= 1/3 \times 700 \times 640 \\ &= 163333.33 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ max}} &= 0.33 \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d \\ &= 0.33 \times \sqrt{25} \times 700 \times 640 \\ &= 808500 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2V_{s \text{ max}} &= 0.66 \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d \\ &= 0.66 \times \sqrt{25} \times 700 \times 640 \end{aligned}$$

$$= 1617000 \text{ N}$$

Cek Kondisi Perencanaan Geser

Kondisi I

$$V_u < 0.5 \times \phi \times V_c$$

$$433576 \text{ N} < 244206.88 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}$$

Kondisi II

$$V_u < \phi \times V_c$$

$$433576 \text{ N} < 488413.76 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kondisi III

$$V_u < \phi \times (V_c + V_s)$$

$$433576 \text{ N} < 610913.76 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kondisi IV

$$V_u < \phi \times (V_c + \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d)$$

$$433576 \text{ N} < 1100913.8 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kondisi V

$$V_u < \phi \times (V_c + \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d)$$

$$433576 \text{ N} < 1713413.8 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Keterangan :

- Apabila perhitungan beban geser masuk dalam kondisi satu sampai tiga maka menggunakan tulangan geser minimum
- Apabila perhitungan beban geser masuk dalam kondisi empat sampai lima maka desain tulangan geser sesuai dengan perhitungan

Berdasarkan periksa kondisi beban geser, didapatkan bahwa tulangan geser kolom masuk dalam kondisi 2, dengan menggunakan tulangan geser minimum

Syarat spasi antar tulangan

$$\begin{aligned} d/2 &= 317.75 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} && \rightarrow \text{Memenuhi} \\ s &= 150 \text{ mm} \leq 317.75 \text{ mm} && \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan geser minimum

$$\begin{aligned} A_v \text{ min} &= 0.35 \times b_w \times s / f_y \\ &= 0.35 \times 700 \times 150 / 400 \\ &= 153.13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

sehingga kebutuhan tulangan sengkang tertutup adalah
 153.13 mm^2

Tulangan sengkang tertutup yang terpasang

$$A_v \text{ perlu} = 153.13 \text{ mm}^2$$

Direncanakan :

$$\begin{aligned} \emptyset &= 10 \text{ mm} \\ S &= 150 \text{ mm} \\ \text{Jumlah kaki} &= 2 \\ A_v \text{ pakai} &= 157.08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luasan tulangan

$$\begin{aligned} A_v \text{ perlu} &< A_v \text{ pakai} \\ 153.13 \text{ mm}^2 &< 157.08 \text{ mm}^2 && \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

Syarat spasi tulangan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.2

1. Pada kedua ujung kolom, sengkang harus disediakan sengkang dengan spasi S_0 sepanjang panjang l_0 diukur dari muka joint.
2. Spasi S_0 tidak boleh melebihi yang terkecil dari:
 - $b/2 = 350 \text{ mm}$
 - $8 \times D = 232 \text{ mm}$
 - $24 \times \emptyset = 240 \text{ mm}$
 - 300 mm

$$S_{\max} = 232 \text{ mm}$$

3. Panjang l_0 tidak boleh kurang dari yang terbesar dari:

- $1/6 l_u = 550 \text{ mm}$
- $b \text{ atau } h = 700 \text{ mm}$
- 450 mm

Kontrol spasi tulangan

$S_{\text{pakai}} < S_{\max}$

$$150 \text{ mm} < 232 \text{ mm}$$

→ Memenuhi

Panjang penyaluran

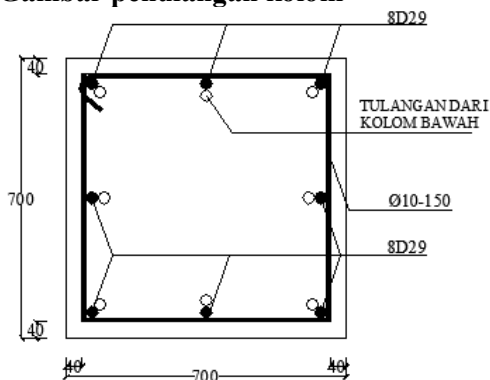
$$\frac{f_y}{1.1 \times \lambda \times \sqrt{f_c'}} \frac{\psi_t \times \psi_e \times \psi_s}{\left(\frac{Cb + K_{tr}}{db} \right)} \times db$$

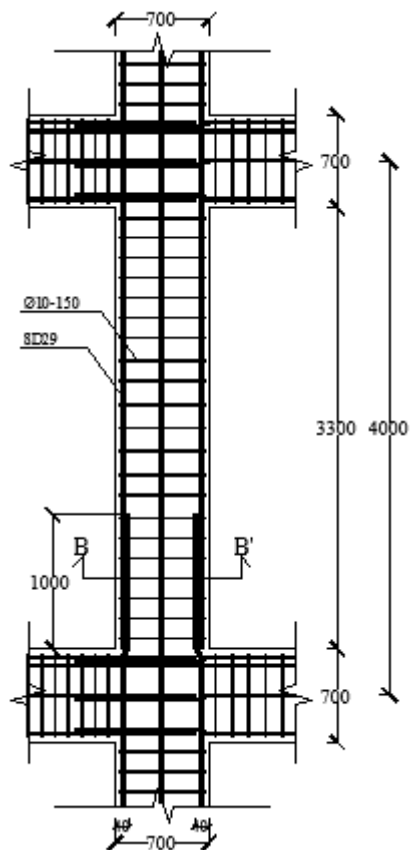
$$\frac{400}{1.1 \times 1 \times \sqrt{25}} \frac{1 \times 1 \times 1}{\left(\frac{40 + 0}{29} \right)} \times 29$$

$$948.273 \text{ mm}$$

Maka Panjang penyaluran kolom yang digunakan adalah 1000 mm

Gambar penulangan kolom





Gambar 4. 48 Detail Penulangan Kolom

4.3 Perencanaan Struktur Bawah

4.3.1 Perhitungan Pondasi

4.3.1.1 Perhitungan Daya Dukung Tanah

a. Data perencanaan

Jenis pondasi	: Bored Pile
Diameter Tiang	: 600 mm
Kedalaman Tiang	: 20000 mm
Selimum tiang	: 50 mm
Safety Factor	: 3

b. Perhitungan

Perhitungan daya dukung tanah disesuaikan dengan Data SPT Tanah Sumenep. (terlampir)

Direncanakan :

Diameter Tiang (Dp)	= 600 mm
Kedalaman	= 20 m
Keliling Tiang (Up)	= $\pi \times d$
	= $\pi \times 0.6 \text{ m}$
	= 1.885 m

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Tiang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times Dp^2 \times B J \text{ beton} \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 0.6^2 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 678.58 \frac{\text{kg}}{\text{m}'}
 \end{aligned}$$

Geser Tiang

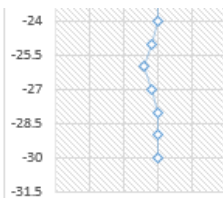
Tabel 4. 3 Intensitas Gaya Geser Dinding Tiang

	Tiang Pracetak	Tiang yang dicor ditempat
Tanah Berpasir	$\frac{N}{5} (\leq 10)$	$\frac{N}{2} (\leq 12)$
Tanah Kohesif	C atau N (≤ 12)	$\frac{C}{2} \text{ atau } \frac{N}{2} (\leq 12)$

Tabel 4. 4 Perhitungan Kedalaman Tiang

Depth (m)	Jenis Tanah	N rata2	Grafik SPT	Kode Tanah	fi (t/m2)	fi.li.O	Σfi.li.O	FRICTION	END BEARING	P Ultimate
						ton	ton	ton	ton	ton
0		0			0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-1	lempung berlanau berpasir berkerkil	30		c	12.0	22.62	22.62	22.62	166.73	189.35
-2	lempung berlanau berpasir berkerkil	59		c	12.0	22.62	45.24	45.24	226.08	271.32
-3	lempung berlanau berpasir berkerkil	51		c	12.0	22.62	67.86	67.86	226.08	293.94
-4	lempung berlanau berpasir berkerkil	42		c	12.0	22.62	90.48	90.48	226.08	316.56
-5	lempung berlanau berpasir berkerkil	44		c	12.0	22.62	113.10	113.10	226.08	339.18
-6	lempung berlanau berpasir berkerkil	46		c	12.0	22.62	135.72	135.72	226.08	361.80
-7	pasir berkerkil berlempung berlanau	48			12.0	22.62	158.34	158.34	226.08	384.42
-8	pasir berkerkil berlempung berlanau	49			12.0	22.62	180.96	180.96	226.08	407.04
-9	pasir berkerkil berlempung berlanau	55			12.0	22.62	203.58	203.58	226.08	429.66
-10	pasir berkerkil berlempung berlanau	60			12.0	22.62	226.19	226.19	226.08	452.27
-11	lempung berlanau berpasir	59		c	12.0	22.62	248.81	248.81	226.08	474.89
-12	lempung berlanau berpasir	57		c	12.0	22.62	271.43	271.43	226.08	497.51
-13	lempung berlanau berpasir	58		c	12.0	22.62	294.05	294.05	226.08	520.13
-14	lempung berlanau berpasir	59		c	12.0	22.62	316.67	316.67	226.08	542.75
-15	lempung berlanau berpasir	60		c	12.0	22.62	339.29	339.29	226.08	565.37
-16	lempung berlanau berpasir	60		c	12.0	22.62	361.91	361.91	226.08	587.99
-17	lempung berlanau berpasir	54		c	12.0	22.62	384.53	384.53	226.08	610.61
-18	lempung berlanau berpasir	47		c	12.0	22.62	407.15	407.15	226.08	633.23
-19	lempung berlanau berpasir	43		c	12.0	22.62	429.77	429.77	226.08	655.85
-20	lempung berlanau berpasir	39		c	12.0	22.62	452.39	452.39	220.43	672.82
-21	lempung berlanau berpasir	50		c	12.0	22.62	475.01	475.01	226.08	701.09
-22	lempung berlanau berpasir	60		c	12.0	22.62	497.63	497.63	226.08	723.71

-23	pasir berkerkil berlempung berlanau	60
-24	pasir berkerkil berlempung berlanau	60
-25	pasir berkerkil berlempung berlanau	56
-26	lempung berlanau	52
-27	lempung berlanau	56
-28	lempung berlanau	60
-29	lempung berlanau	60
-30	lempung berlanau	60



	12.0	22.62	520.25	520.25	226.08	746.33
	12.0	22.62	542.87	542.87	226.08	768.95
	12.0	22.62	565.49	565.49	226.08	791.57
c	12.0	22.62	588.11	588.11	226.08	814.19
c	12.0	22.62	610.73	610.73	226.08	836.81
c	12.0	22.62	633.35	633.35	226.08	859.43
c	12.0	22.62	655.96	655.96	226.08	882.04
c	12.0	22.62	678.58	678.58	226.08	904.66

- Daya Dukung Aksial Pondasi Tiang
 - Gaya Geser Maksimum Dinding Tiang (R_f)

$$\begin{aligned}
 R_f &= U_p \times \sum (l_i \times f_i) \\
 &= 1.885 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 12 \\
 &= 452.4 \text{ Ton/m}
 \end{aligned}$$

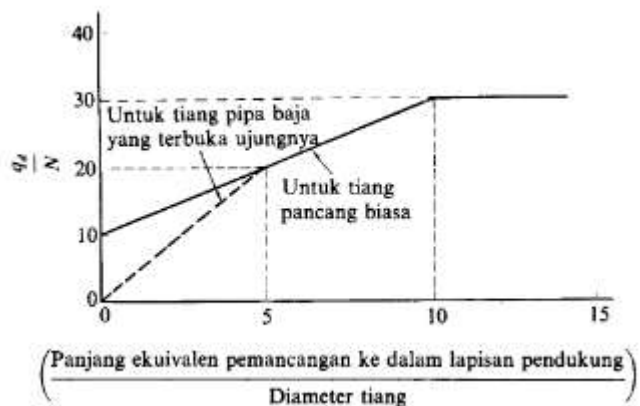
- Daya Dukung Pada Ujung Tiang (R_t)

$$\begin{aligned}
 \text{Luasan Tiang (A)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 0.6^2 \\
 &= 0.282743 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Panjang penetrasi tiang sampai ke lapisan pendukung (l)

$$\begin{aligned}
 &= 2 \times D \\
 &= 1.2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 l/D &= \frac{1.2 \text{ m}}{0.6 \text{ m}} \\
 &= 2
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 49 Nilai q_d/N

Nilai q_d/N berdasarkan grafik adalah 14

$$\begin{aligned} N &= \frac{N1+N2}{2} \\ &= \frac{39+50}{2} \\ &= 44.375 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_d &= 14 \times 44.375 \\ &= 621.25 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Maka untuk menghitung daya dukung pada ujung tiang adalah

$$\begin{aligned} R_t &= q_d \times A \\ &= 621.25 \text{ Ton} \times 0.282743 \text{ m}^2 \\ &= 175.6543 \text{ Ton} \end{aligned}$$

- Daya Dukung Ultimate (R_u)

$$\begin{aligned} R_u &= R_t + R_f \\ &= 175.6543 \text{ Ton} + 452.4 \text{ Ton} \\ &= 628.04 \text{ Ton} \end{aligned}$$

- Daya Dukung Ijin Tiang (R_a)

$$\begin{aligned} W_p &= \text{Berat tiang} \times \text{kedalaman} \\ &= 0.678584 \text{ ton/m} \times 20 \text{ m} \\ &= 13.57168 \text{ Ton/tiang} \end{aligned}$$

Daya dukung ijin beban tetap

$$\begin{aligned} R_a &= \frac{R_u}{SF} - W_p \\ &= \frac{628.04 \text{ Ton}}{3} - 13.57168 \text{ Ton/tiang} \\ &= 196 \text{ Ton/tiang} \end{aligned}$$

Daya dukung ijin beban sementara

$$\begin{aligned} R_a(s) &= R_a \times 150\% \\ &= 196 \text{ Ton/tiang} \times 150\% \\ &= 294 \text{ Ton/tiang} \end{aligned}$$

- Kapasitas Daya Dukung Horizontal Pondasi Tiang
 - Ketentuan
 - Tiang – tiang terbenam dibawah tanah dasar
 - Nilai N-SPT -2.0 m dibawah muka tanah dasar, diambil nilai N-SPT min yaitu 59
 - Diameter tiang, diperhitungkan yaitu 60 cm
 - Mutu beton K-300, maka $f_c' = 25 \text{ Mpa}$
 - Modulus Elastisitas Beton (E)= $4700\sqrt{f_c'}$

$$= 4700\sqrt{25}$$

$$= 234529.53 \text{ kg/cm}^2$$
 - Momen Inersia Tiang (I)= $\frac{1}{64} \times \pi \times D^4$

$$= \frac{1}{64} \times \pi \times 60^4$$

$$= 584700.66 \text{ cm}^4$$
 - Modulus elastisitas tanah

$$E_0 = 28 \times N$$

$$= 28 \times 59$$

$$= 1652$$
 - Koefisien Reaksi Tanah Dasar (k)

$$K = 0.2 \times E_0 \times D^{-0.75} \times y^{-0.5}$$

$$= 0.2 \times 1652 \times (60)^{-0.75} \times 1^{-0.5}$$

$$= 15.325 \text{ kg/cm}^3$$
 - Deformasi Tiang di Dasar Pile Cap (y)
 Direncanakan :
 Deformasi horizontal ijin (y) = 1 cm
 $k = 15.325 \text{ kg/cm}^3$

$$\beta = \frac{k \cdot D^{0.25}}{4EI}$$

$$\beta = \frac{15.325 \times 60^{0.25}}{4 \times 1652 \times 584700.66}$$

$$= 0.0065 \text{ cm}^{-1}$$

- Virtual fixity point (lm)

$$Lm = \frac{\pi}{2\beta}$$

$$= 240 \text{ cm}$$

$$= 2.4 \text{ m}$$

- Daya dukung gaya horizontal tiang tegak (Ha), untuk pergeseran sebesar “y”

$$Hu = \frac{k \cdot D \cdot y}{\beta}$$

$$= \frac{15.325 \times 60 \times 1}{0.0065}$$

$$= 140.47 \text{ Ton/tiang}$$

Gaya Horizontal Ijin Tiang (Ha)

$$Ha = \frac{Hu}{SF}$$

$$= \frac{140.47}{3}$$

$$= 46.83 \text{ Ton/tiang}$$

Gaya Horizontal Ijin Tiang untuk Beban Sementara

$$Ha(s) = Ha \times 150\%$$

$$= 46.83 \times 150\%$$

$$= 70.245 \text{ Ton/tiang}$$

- Daya dukung momen lentur pada kepala tiang

$$\begin{aligned}
 Ma &= \frac{Ha}{2\beta} \\
 &= \frac{46.83}{2 \times 0.0065} \\
 &= 35.77 \text{ Ton} - m/tiang
 \end{aligned}$$

- Kapasitas Cabut Tiang

- Gaya Geser Maksimum Dinding Tiang (Rf)

$$\begin{aligned}
 Rf &= Up \times \sum (li \times fi) \\
 &= 1.885 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 12 \\
 &= 452.4 \text{ Ton/m}
 \end{aligned}$$

- Berat Tiang

$$\begin{aligned}
 Wp &= \text{Berat tiang} \times \text{kedalaman} \\
 &= 0.678584 \text{ ton/m} \times 20 \text{ m} \\
 &= 13.57168 \text{ Ton/tiang}
 \end{aligned}$$

- Kapasitas Cabut Ijin Tiang untuk Beban Tetap (Rc)

$$\begin{aligned}
 Ra &= \frac{Rf}{SF} + Wp \\
 &= \frac{452.4 \text{ Ton}}{3} + 13.57168 \text{ Ton/tiang} \\
 &= 165 \text{ Ton/tiang}
 \end{aligned}$$

- Kapasitas Cabut Ijin Tiang untuk Beban Sementara

$$\begin{aligned}
 Rc(s) &= Rc \times 150\% \\
 &= 165 \times 150\% \\
 &= 247.5 \text{ Ton/tiang}
 \end{aligned}$$

4.3.1.2 Perhitungan Jumlah Tiang

Kebutuhan bored pile pada gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya didapatkan dari perbandingan beban aksial kolom yang didapatkan dari program SAP 2000 dengan daya dukung ijin tanah. Beban aksial kolom yang digunakan adalah hasil *show table join reaction* kombinasi ijin nilai F3 maksimum dari program SAP 2000.

Sehingga jumlah bored pile didapatkan sebagai berikut:

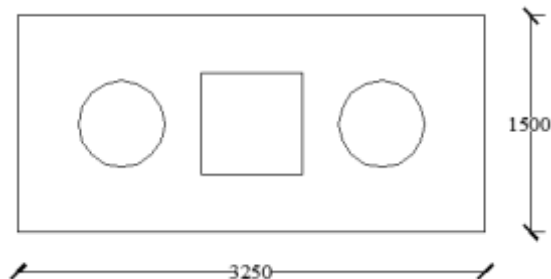
A4 =	245.964ton	n Tiang =	2
A5 =	274.331ton	n Tiang =	2
A6 =	307.841ton	n Tiang =	2
A7 =	301.019ton	n Tiang =	2
A8 =	112.442ton	n Tiang =	2
A9 =	70.746 ton	n Tiang =	2
B4 =	354.953ton	n Tiang =	2
B5 =	388.035ton	n Tiang =	2
B6 =	439.179ton	n Tiang =	4
B7 =	524.834ton	n Tiang =	4
B8 =	462.439ton	n Tiang =	4
B9 =	276.592ton	n Tiang =	2
C1 =	366.582ton	n Tiang =	2
C2 =	507.618ton	n Tiang =	4
C3 =	290.993ton	n Tiang =	2
C4 =	306.119ton	n Tiang =	2
C5 =	318.669ton	n Tiang =	2
C6 =	423.878ton	n Tiang =	4
C7 =	535.836ton	n Tiang =	4
C8 =	518.013ton	n Tiang =	4
C9 =	382.343ton	n Tiang =	2
D4 =	301.205ton	n Tiang =	2
D5 =	312.316ton	n Tiang =	2
E1 =	253.143ton	n Tiang =	2
E2 =	378.549ton	n Tiang =	2
E3 =	218.889ton	n Tiang =	2
F6 =	348.701ton	n Tiang =	2

F7 =	416.885ton	n Tiang =	4
F8 =	402.891ton	n Tiang =	4
F9 =	306.941ton	n Tiang =	2
G4 =	351.306ton	n Tiang =	2
G5 =	377.39 ton	n Tiang =	2
G6 =	356.139ton	n Tiang =	2
G7 =	427.558ton	n Tiang =	4
G8 =	405.418ton	n Tiang =	4
G9 =	278.606ton	n Tiang =	2
H4 =	240.364ton	n Tiang =	2
H5 =	267.642ton	n Tiang =	2
H6 =	302.525ton	n Tiang =	2
H7 =	341.668ton	n Tiang =	2
H8 =	317.921ton	n Tiang =	2
H9 =	216.613ton	n Tiang =	2

Berdasarkan perhitungan kebutuhan tiang didapatkan dua tipe pondasi yaitu pondasi tipe I dengan jumlah 2 tiang dan pondasi tipe 2 dengan jumlah 4 tiang.

4.3.1.3 Perhitungan Pondasi Tipe 1

4.3.1.3.1 Perhitungan Pilecap



Diameter tiang : 0.6 m

Jumlah tiang : 2 buah

P tiang : $\frac{Pu}{n} \pm \frac{Mx.Y}{\sum Y^2} \pm \frac{My.X}{\sum X^2}$

Tabel 4. 5 Perhitungan Gaya tiap Tiang

As	Pu	Mx	My	P1		P2		Σx^2	Σy^2	P1	P2
	(Ton)	(Ton)	(Ton)	x	y	x	y			(Ton)	(Ton)
A4	246	6.332	4.137	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	120.7	125.3
A5	274.3	8.962	4.448	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	134.7	139.6
A6	307.8	6.749	3.318	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	152.1	155.8
A7	301	8.798	1.019	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	149.9	151.1
A8	112.4	-0.297	-3.34	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	58.08	54.37
A9	70.75	9.91	1.274	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	34.67	36.08
B4	355	-3.313	-0.841	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	177.9	177
B5	388	1.45	-1.475	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	194.8	193.2
B9	276.6	11.93	4.861	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	135.6	141
C1	366.6	2.29	9.186	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	178.2	188.4
C3	291	10.61	9.896	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	140	151
C4	306.1	4.307	9.428	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	147.8	158.3
C5	318.7	7.107	9.19	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	154.2	164.4
C9	382.3	9.238	4.647	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	188.6	193.8
D4	301.2	4.574	6.612	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	146.9	154.3
D5	312.3	-0.312	-1.761	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	157.1	155.2
E1	253.1	1.375	13.11	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	119.3	133.9
E2	378.5	4.3	14.65	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	181.1	197.4
E3	218.9	10.51	14.09	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	101.6	117.3
F6	348.7	-1.531	2.248	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	173.1	175.6
F9	306.9	10.15	6.216	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	150	156.9
G4	351.3	5.685	8.554	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	170.9	180.4
G5	377.4	1.999	-0.087	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	188.7	188.6
G6	356.1	5.804	4.905	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	175.3	180.8
G9	278.6	11.76	3.72	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	137.2	141.4
H4	240.4	7.736	11.82	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	113.6	126.7
H5	267.6	10.19	11.56	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	127.4	140.2
H6	302.5	7.957	11.14	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	145.1	157.5
H7	341.7	0.569	0.564	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	170.5	171.1
H8	317.9	1.782	4.779	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	156.3	161.6
H9	216.6	12.47	7.963	-0.9	0	0.9	0	1.62	0	103.9	112.7
										194.8	197.4

Gaya maksimum tiang P1 dan P2 terdapat pada pondasi B5, maka perhitungan pilecap disesuaikan berdasarkan gaya terbesar tiang yaitu pada As B5.

✚ Data Perencanaan

- Mutu beton (f_c') : 25 Mpa
- Mutu Baja (f_y) : 240 Mpa (untuk $\emptyset < 12$ mm)
- Mutu Baja (f_y) : 400 Mpa (untuk $D > 13$ mm)
- Diameter tiang : 600 mm
- Selimut tiang : 75 mm
- Jarak antar tiang : 1800 mm (3D)
- Jarak tiang ke tepi pilecap : 720 mm (1.2D)
- Jarak tiang ke tepi kolom : 550 mm
- Dimensi Kolom
 - Panjang : 700 mm
 - Lebar : 700 mm
- Dimensi Pilecap
 - Panjang : 3250 mm
 - Lebar : 1500 mm
 - Tebal : 1000 mm
- Tebal efektif : 850 mm

✚ Perhitungan Panjang Penyaluran kolom ke pilecap

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2 untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir, l_{dc} harus diambil sebesar yang terbesar dari : $l_d = \frac{0.24 f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} db$ dan $l_d = 0.043 \cdot f_y \cdot db$.

$$\begin{aligned}
 l_d &= \frac{0.24 f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} db \\
 &= \frac{0.24 \times 400}{1 \sqrt{25}} 32 \\
 &= 614.4 \text{ mm} \\
 l_d &= 0.043 \cdot f_y \cdot db \\
 &= 0.043 \cdot 400 \cdot 32 \\
 &= 550.4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Panjang penyaluran kolom ke pilecap maksimum adalah 614.4 mm, sehingga tebal poer yang direncanakan harus lebih besar dari panjang penyaluran tersebut



Perhitungan Geser Pons

Perhitungan geser pons digunakan untuk merencanakan tebal pilecap yakni tebal pilecap harus memenuhi syarat kuat geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi.

- Geser pons akibat kolom

Diketahui P max dari output SAP 2000 kombinasi ultimate

$$P = 512.2 \text{ Ton}$$

$$\begin{aligned} P_u &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{512.2 \text{ Ton}}{3.25 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}} \\ &= 105.1 \text{ Ton/m}^2 \end{aligned}$$

a. Perhitungan geser pons satu arah

Beban Gaya Geser Vu (N)

$$V_u = P_u \times b_w \times L'$$

$$\begin{aligned} L' &= \frac{1}{2} B \text{ poer} - \frac{1}{2} L \text{ kolom} - d \\ &= \frac{1}{2} 3.25 - \frac{1}{2} 0.7 - 0.85 \\ &= 0.425 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } V_u &= P_u \times b_w \times L' \\ &= 105.1 \text{ Ton/m}^2 \times 1.5 \text{ m} \times 0.425 \text{ m} \\ &= 145.13 \text{ T} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.1 gaya geser yang mampu dipikul oleh beton (V_c) adalah

$$\begin{aligned} V_c &= 0.17 \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d \\ &= 0.17 \times \sqrt{25} \times 1.5 \times 0.85 \\ &= 234.8125 \text{ T} \end{aligned}$$

Syarat :

$$V_u < \phi V_c$$

$$145.1 \text{ T} < 176.1 \text{ T} \rightarrow \text{memenuhi}$$

b. Perhitungan geser pons dua arah

Berdasarkan *SNI 03-2847-2013, Pasal 11.11.2.1*

point (a), (b), dan (c), untuk perencanaan pelat atau fondasi telapak aksi dua arah, untuk beton non-prategang, maka V_c harus memenuhi persamaan berikut dengan mengambil nilai V_c terkecil.

$$V_c = 0.17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda x \sqrt{f'c'} x b_o x d$$

Dimana :

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

$$\beta_c = 600/600 = 1$$

b_o = keliling dari penampang kritis

$$V_c = 0.083 \left(\frac{\alpha_s x d}{b_o} + 2 \right) \lambda x \sqrt{f'c'} x b_o x d$$

Dimana :

$\alpha_s = 40$ untuk kolom tengah

$\alpha_s = 30$ untuk kolom tepi

$\alpha_s = 20$ untuk kolom sudut

$$V_c = 0.33 \lambda x \sqrt{f'c'} x b_o x d$$

Luasan tributary A_t (mm^2)

$$A_t = (L \text{ poer} x B \text{ poer}) - ((h \text{ kolom} + \text{tebal poer}) x (b \text{ kolom} + \text{tebal poer}))$$

$$= (3.25 x 1.5) - ((0.7 + 0.85) x (0.7 + 0.85))$$

$$= 3.475 \text{ m}^2$$

Beban Gaya Geser Vu (N)

$$\begin{aligned}
 V_u &= P_u \times A_t \\
 &= 105.1 \text{ T} \times 3.475 \text{ m}^2 \\
 &= 365.1 \text{ T}
 \end{aligned}$$

Keliling dari penampang kritis (bo)

$$\begin{aligned}
 B_o &= 2 \times (0.7 + 0.7) + 4 \times 0.85 \\
 &= 6.2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Geser yang dipikul oleh beton (Vc)

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0.17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \times \lambda \times \sqrt{f_{c'}} \times b_o \times d \\
 &= 0.17 \left(1 + \frac{2}{1} \right) \times 1 \times \sqrt{25} \times 6.2 \times 0.85 \\
 &= 13438500 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$V_u < \phi V_c$$

$$3651247.794 \text{ N} < 13438500 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0.083 \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} + 2 \right) \times \lambda \times \sqrt{f_{c'}} \times b_o \times d \\
 &= 0.083 \left(\frac{40 \times 0.85}{6.2} + 2 \right) \times 1 \times \sqrt{25} \times 6.2 \times 0.85 \\
 &= 16367600 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$V_u < \phi V_c$$

$$3651247.794 \text{ N} < 16367600 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0.33 \times \lambda \times \sqrt{f_{c'}} \times b_o \times d \\
 &= 0.33 \times 1 \times \sqrt{25} \times 6.2 \times 0.85 \\
 &= 8695500 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$V_u < \phi V_c$$

$$3651247.794 \text{ N} < 8695500 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

o **Geser pons akibat bored pile**

Diketahui P max dari output SAP 2000 kombinasi ultimate

$$P = 263.7 \text{ Ton}$$

$$\begin{aligned} P_u &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{263.7 \text{ Ton}}{3.25 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}} \\ &= 54.09 \text{ Ton/m}^2 \end{aligned}$$

a. **Perhitungan geser pons dua arah**

Berdasarkan *SNI 03-2847-2013, Pasal 11.11.2.1 poin (a), (b), dan (c)*, untuk perencanaan pelat atau fondasi telapak aksi dua arah, untuk beton non-prategang, maka V_c harus memenuhi persamaan berikut dengan mengambil nilai V_c terkecil.

$$V_c = 0.17 \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \lambda x \sqrt{f_c'} x b_o x d$$

Dimana :

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

$$\beta_c = 600/600 = 1$$

b_o = keliling dari penampang kritis

$$V_c = 0.083 \left(\frac{\alpha_s x d}{b_o} + 2 \right) \lambda x \sqrt{f_c'} x b_o x d$$

Dimana :

$\alpha_s = 40$ untuk kolom tengah

$\alpha_s = 30$ untuk kolom tepi

$\alpha_s = 20$ untuk kolom sudut

$$V_c = 0.33 \lambda x \sqrt{f_c'} x b_o x d$$

Luasan tributary A_t (mm^2)

$A_t = A_{\text{poer}} - A_{\text{pondasi}}$

$$= (3.25 \times 1.5) - (1/4 \times \pi \times (0.6 + 0.85)^2)$$

$$= 3.224 \text{ m}^2$$

Beban Gaya Geser Vu (N)

$$Vu = Pu \times At$$

$$= 54.09 \text{ T} \times 3.224 \text{ m}^2$$

$$= 174.4 \text{ T}$$

Keliling dari penampang kritis (bo)

$$Bo = \pi \times (D + d)^2$$

$$= \pi \times (0.6 + 0.85)^2$$

$$= 4.555 \text{ m}$$

Geser yang dipikul oleh beton (Vc)

$$Vc = 0.17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times bo \times d$$

$$= 0.17 \left(1 + \frac{2}{1} \right) \times 1 \times \sqrt{25} \times 4.555 \times 0.85$$

$$= 9873633.011 \text{ N}$$

Syarat :

$$Vu < \phi Vc$$

$$17438130812 \text{ N} < 9873633.011 \text{ N} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$Vc = 0.083 \left(\frac{\alpha s \times d}{bo} + 2 \right) \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times bo \times d$$

$$= 0.083 \left(\frac{40 \times 0.85}{4.555} + 2 \right) \times 1 \times \sqrt{25} \times 4.55 \times 0.85$$

$$= 15207270.74 \text{ N}$$

Syarat :

$$Vu < \phi Vc$$

$$17438130812 \text{ N} < 7405224.758 \text{ N} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$Vc = 0.33 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times bo \times d$$

$$= 0.33 \times 1 \times \sqrt{25} \times 4.555 \times 0.85$$

$$= 6388821.36 \text{ N}$$

Syarat :

$$V_u < \phi V_c$$

$$17438130812 \text{ N} < 4791616.02 \text{ N} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Berdasarkan perhitungan geser pons yang sudah memenuhi syarat maka tebal efektif pilecap yang direncanakan dapat digunakan dalam perhitungan.

4.3.1.3.2 Perhitungan Penulangan

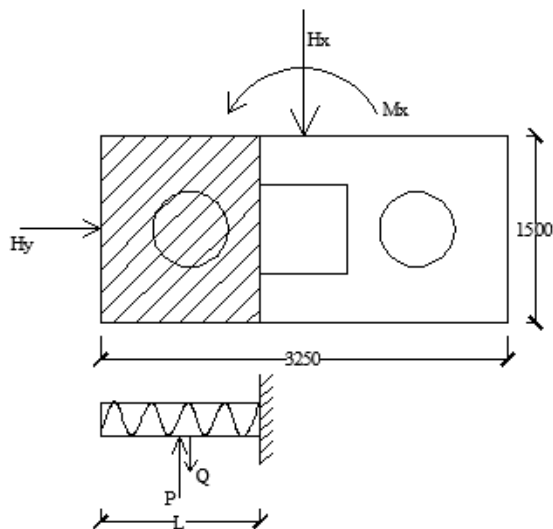
a. Perhitungan tulangan arah x

Pada perencanaan tulangan lentur, pilecap diasumsikan sebagai balok kantilever jepit dengan perletakan jepit pada kolom yang dibebani oleh reaksi tiang pancang dan berat sendiri pilecap. Pada perencanaan penulangan ini digunakan pengaruh beban sementara, dikarenakan P kombinasi ultimate lebih besar daripada P kombinasi ijin.

Data Perencanaan :

- Mutu beton (f_c') : 25 Mpa
- Mutu Baja (f_y) : 240 Mpa (untuk $\emptyset < 12 \text{ mm}$)
- Mutu Baja (f_y) : 400 Mpa (untuk $D > 13 \text{ mm}$)
- Diameter tiang : 600 mm
- Selimut tiang : 75 mm
- Jarak antar tiang : 1800 mm (3D)
- Jarak tiang ke tepi pilecap : 720 mm (1.2D)
- Jarak tiang ke tepi kolom : 550 mm
- Dimensi Kolom
 - Panjang : 700 mm
 - Lebar : 700 mm
- Dimensi Pilecap
 - Panjang : 3250 mm
 - Lebar : 1500 mm

- Tebal : 1000 mm
- Tebal efektif : 850 mm
- Diameter tulangan : 32 mm
- Jarak antar tulangan : 200 mm
- Tebal efektif arah x : t pilecap – selimut – $1/2D$ lentur
 : 1000 mm – 75 mm – $\frac{1}{2} \times 32$
 : 983.9 mm
- Tebal efektif arah y : t pilecap – selimut – D lentur – $1/2\phi$ geser
 : 1000 mm – 75 mm – 32 mm – $\frac{1}{2} \times 16$ mm
 : 885 mm



Gambar 4. 50 Arah Momen Pilecap Tipe 1

Perhitungan Momen

$$\begin{aligned}
 q \text{ pilecap} &= \text{Berat Pilecap} \\
 &= 3.25 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 7800 \text{ kg/m} \\
 Q \text{ pilecap} &= q \times \text{jarak tepi kolom ke tepi pilecap} \\
 &= 7800 \text{ kg/m} \times (0.75 \text{ m} + 0.55 \text{ m}) \\
 &= 9.906 \text{ Ton} \\
 P \text{ max} &= 263.7 \text{ Ton} \\
 Mu &= (P \text{ max} \times \text{Jarak tiang ke tepi kolom}) - \\
 &\quad (1/2 \times Q \times \text{jarak tepi kolom ke tepi pilecap}) \\
 &= (263.7 \text{ Ton} \times 0.55 \text{ m}) - (1/2 \times 9.906 \text{ ton} \\
 &\quad \times (0.75 \text{ m} + 0.55 \text{ m})) \\
 &= 1387480080 \text{ Nmm} \\
 Mn &= Mu/\phi \\
 &= 1387480080 \text{ Nmm} / 0.9 \\
 &= 1541644534 \text{ Nmm} \\
 Rn &= \frac{Mn}{\frac{b \times dx^2}{1.5 \times 983.9}} \\
 &= \frac{1541644534}{1.5 \times 983.9} \\
 &= 1.062 \\
 m &= \frac{fy}{\frac{0.85 \times fc'}{400}} \\
 &= \frac{400}{\frac{0.85 \times 25}{400}} \\
 &= 18.82 \\
 \rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) \\
 &= \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18.82 \times 1.062}{400}} \right) \\
 &= 0.003
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= 1.4/f_y \\ &= 1.4/400 \\ &= 0.0035\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{balance}} &= \frac{0.85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0.85 \times 0.85 \times 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0.027\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0.75 \times \rho_{\text{balance}} \\ &= 0.75 \times 0.027 \\ &= 0.02\end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0.0035 < 0.003 < 0.02 \quad \rightarrow \text{Tidak memenuhi}$$

Karena ρ_{perlu} lebih kecil daripada ρ_{\min} maka ρ yang digunakan adalah ρ_{\min} yaitu 0.0035

Luasan tulangan yang dibutuhkan adalah :

$$\begin{aligned}\text{As}_{\text{perlu}} &= \rho \times b \times d_x \\ &= 0.0035 \times 1500 \text{ mm} \times 983.9 \text{ mm} \\ &= 5166 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Tulangan yang digunakan adalah :

$$\begin{aligned}D &= 32 \text{ mm} \\ S &= 200 \text{ mm} \\ \text{As} &= 6032 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol luasan tulangan

$$\begin{aligned}\text{As}_{\text{perlu}} &< \text{As}_{\text{pakai}} \\ 5166 \text{ mm}^2 &< 6032 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}\end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= d/4 &&= 246 \text{ mm} \\
 &= 8 \times D_{\text{lentur}} &&= 256 \text{ mm} \\
 &= 24 \times \emptyset_{\text{geser}} &&= 384 \text{ mm} \\
 &= 300 \text{ mm} &&= 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol spasi antar tulangan

$$\begin{aligned}
 S_{\text{pakai}} &< S_{\max} \\
 200 \text{ mm} &< 246 \text{ mm} &&\rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Periksa kemampuan tulangan

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \times f_y \\
 &= 6032 \times 400 \\
 &= 2412743.158 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{T}{0.85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{2412743.158}{0.85 \times 25 \times 1500} \\
 &= 78.85 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{kap}} &= T \times (d - a/2) \times \phi \\
 &= 2412743.158 \times (983.9 - 78.85/2) \times 0.9 \\
 &= 2050954693 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Momen kapasitas

$$\begin{aligned}
 M_u &< M_{\text{kap}} \\
 1387480080 \text{ Nmm} &< 2050954693 \text{ Nmm} &&\rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Sehingga tulangan D32 – 200 dapat digunakan sebagai tulangan lentur pilecap (tulangan arah x)

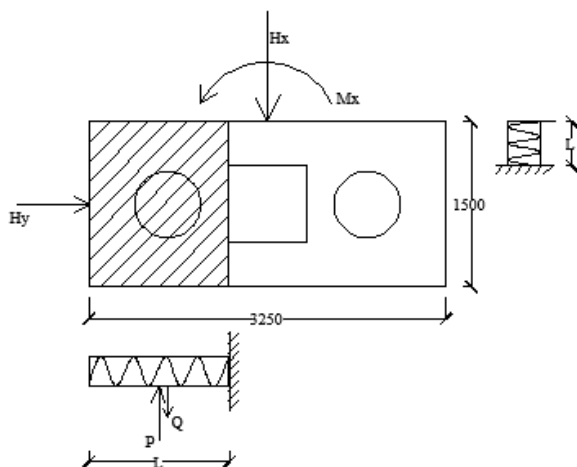
b. Perhitungan tulangan arah y

Pada perencanaan tulangan lentur, pilecap diasumsikan sebagai balok kantilever jepit dengan perletakan jepit pada kolom yang dibebani oleh reaksi

borepile dan berat sendiri pilecap. Tulangan arah y pada pilecap dengan jumlah tiang sebanyak 2 adalah sebagai tulangan geser. Pada perencanaan penulangan ini digunakan pengaruh beban sementara, dikarenakan P kombinasi ultimate lebih besar daripada P kombinasi ijin.

Data Perencanaan :

- Mutu beton (f_c') : 25 Mpa
- Mutu Baja (f_y) : 240 Mpa (untuk $\emptyset < 12$ mm)
- Mutu Baja (f_y) : 400 Mpa (untuk $D > 13$ mm)
- Diameter tiang : 600 mm
- Selimut tiang : 75 mm
- Jarak antar tiang : 1800 mm (3D)
- Jarak tiang ke tepi pilecap : 720 mm (1.2D)
- Jarak tiang ke tepi kolom : 550 mm
- Dimensi Kolom
 - Panjang : 700 mm
 - Lebar : 700 mm
- Dimensi Pilecap
 - Panjang : 3250 mm
 - Lebar : 1500 mm
 - Tebal : 1000 mm
- Tebal efektif : 850 mm
- Diameter tulangan : 32 mm
- Jarak antar tulangan : 200 mm
- Tebal efektif arah x : $t_{\text{pilecap}} - \text{selimut} - \frac{1}{2}D_{\text{lentur}}$
 - : $1000 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - \frac{1}{2} \times 32$
 - : 983.9 mm
- Tebal efektif arah y : $t_{\text{pilecap}} - \text{selimut} - D_{\text{lentur}} - \frac{1}{2}\emptyset_{\text{geser}}$
 - : $1000 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - 32 \text{ mm} - \frac{1}{2} \times 16 \text{ mm}$
 - : 885 mm



Gambar 4. 51 Geser Arah Y Pilecap Tipe I

Perhitungan Beban Geser

$$\begin{aligned}
 q \text{ pilecap} &= \text{Berat Pilecap} \\
 &= 3.25 \text{ m} \times 1.5 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 7800 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q \text{ pilecap} &= q \times \text{jarak tepi kolom ke tepi pilecap} \\
 &= 7800 \text{ kg/m} \times (0.75 \text{ m} + 0.55 \text{ m}) \\
 &= 9.906 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{max}} &= 263.7 \text{ Ton} \\
 V_u &= P_{\text{max}} - Q \\
 &= 263.7 \text{ Ton} - 9.906 \text{ ton} \\
 &= 253.8 \text{ T} \\
 &= 2538000.328 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\
 &= \frac{1}{6} \times \sqrt{25} \times 3250 \times 885 \\
 &= 2302083.33 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{1}{3} \times b_w \times d \\
 &= \frac{1}{3} \times 3250 \times 885 \\
 &= 920833.333 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Periksa kondisi tulangan geser

Kondisi I

$$V_u < 0.5 \times \phi \times V_c$$

$$2538000.328 \text{ N} < 0.5 \times 0.75 \times 2302083.33 \text{ N}$$

$$2538000.328 \text{ N} < 863281.25 \text{ N} \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}$$

Kondisi II

$$V_u < \phi \times V_c$$

$$2538000.328 \text{ N} < 0.75 \times 2302083.33 \text{ N}$$

$$2538000.328 \text{ N} < 1726562.5 \text{ N} \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}$$

Kondisi III

$$V_u < \phi \times (V_c + V_s)$$

$$2538000.328 \text{ N} < 0.75 \times (2302083.33 \text{ N} + 920833.333 \text{ N})$$

$$2538000.328 \text{ N} < 2417187.5 \text{ N} \rightarrow \text{Tidak Memenuhi}$$

Kondisi IV

$$V_u < \phi \times (V_c + \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d)$$

$$2538000.328 \text{ N} < 0.75 \times (2302083.33 \text{ N} + 4604166.67 \text{ N})$$

$$2538000.328 \text{ N} < 5179687.5 \text{ N} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kondisi V

$$V_u < \phi \times (V_c + \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d)$$

$$2538000.328 \text{ N} < 0.75 \times (2302083.33 \text{ N} + 9208333.33 \text{ N})$$

$$2538000.328 \text{ N} < 8632812.5 \text{ N} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kondisi VI

$$V_u > \phi \times (V_c + \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d)$$

$$2538000.328 \text{ N} > 0.75 \times (2302083.33 \text{ N} + 9208333.33 \text{ N})$$

$$2538000.328 \text{ N} > 8632812.5 \text{ N} \rightarrow \text{Penampang cukup}$$

Keterangan :

- Apabila perhitungan beban geser masuk dalam kondisi satu sampai tiga maka menggunakan tulangan geser minimum
- Apabila perhitungan beban geser masuk dalam kondisi empat sampai lima maka desain tulangan geser sesuai dengan perhitungan

Berdasarkan periksa kondisi beban geser, didapatkan bahwa tulangan geser pilecap masuk dalam kondisi 4, sehingga :

Direncanakan :

$$D \text{ geser} = 16 \text{ mm}$$

$$s = 125 \text{ mm}$$

$$n \text{ kaki} = 2$$

$$A_v \text{ pakai} = 402.1 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ perlu} &= (V_u - \phi V_c) / \phi \\ &= (2538000.328 - 0.75 \times 2302083.33) / 0.75 \\ &= 1081917.104 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v \text{ perlu} &= \frac{V_s \times s}{f_y \times d} \\ &= \frac{1081917.104 \times 125}{400 \times 885} \\ &= 397.8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luasan tulangan

$$A_v \text{ perlu} < A_v \text{ pakai}$$

$$397.8 \text{ mm}^2 < 402.1 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Syarat spasi antar tulangan

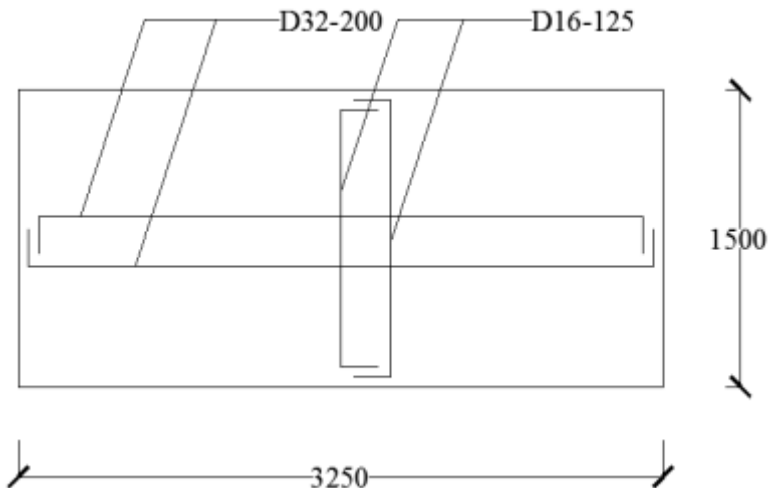
$$\begin{aligned} S_{\max} &= d/2 &&= 425 \text{ mm} \\ &= 600 \text{ mm} &&= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol spasi antar tulangan

$$S_{\text{pakai}} < S_{\max}$$

$$125 \text{ mm} < 425 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Sehingga tulangan D16 – 125 dapat digunakan sebagai tulangan geser pilecap (tulangan arah y)



Gambar 4. 52 Penulangan Pilecap Tipe 1

4.3.1.3.3 Perhitungan Borepile

a. Data perencanaan

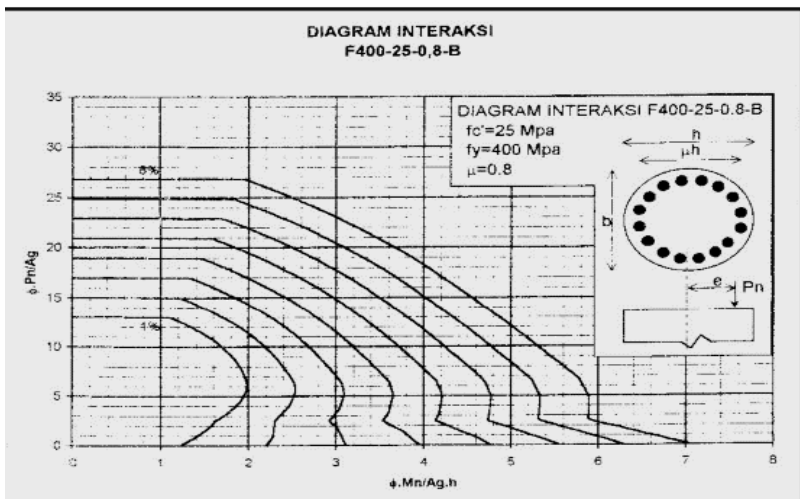
- Mutu beton (f_c') : 25 Mpa
- Mutu Baja (f_y) : 240 Mpa (untuk $\emptyset < 12$ mm)
- Mutu Baja (f_y) : 400 Mpa (untuk $D > 13$ mm)
- Diameter tiang : 600 mm
- Kedalaman tiang : 20000 mm
- Selimut tiang : 75 mm

b. Periksa diagram interaksi

$$\begin{aligned}\mu h &= D \text{ tiang} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset \text{geser} - D \text{ lentur} \\ &= 600 - 2 \times 50 - 2 \times 13 - 22 \\ &= 452 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{\mu h}{D \text{ tiang}} \\ &= \frac{452}{600} \\ &= 0.753\end{aligned}$$

Sehingga digunakan diagram interaksi sebagai berikut :



Gambar 4. 53 Diagram Interaksi Borepile

Gaya dalam diambil dari *show table joint reaction* program SAP 2000 dengan kombinasi ultimate. Didapatkan hasil sebagai berikut :

Joint	OpenCase	CaseType	StepType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
9184	COMB1U	Combination		-7261.45	15865	505321.33	1955.99	-2049	-18.6
9184	COMB2U	Combination		-2073.76	11827	446539	2248.58	-2385	-18.9
9184	COMB3U	Combination	Max	8714.75	40155	512225.41	36832.8	13668	214.4
9184	COMB3U	Combination	Min	-11944.96	-14835	416352.3	-33453.38	-17030	-346
9184	COMB3U	Combination	Max	24858.21	26210	490463.18	18850.44	38676	370.1
9184	COMB3U	Combination	Min	-28068.43	-890.1	438114.53	-15471.01	-42038	-402
			Max	24858.21	40155		36832.8	38676	

Gambar 4. 54 Hasil output SAP 2000 Kombinasi Ultimate

$$P_u = 2485193.772 \text{ N}$$

$$H_x = 24858.21 \text{ kg}$$

$$H_y = 40155 \text{ kg}$$

$$M_x = \frac{36832.8 \text{ kgm}}{2}$$

$$= 18416 \text{ kgm}$$

$$M_y = \frac{38676 \text{ kgm}}{2}$$

$$= 19338 \text{ kgm}$$

$$M_u = 19338 \text{ kgm}$$

Input pada diagram interaksi

- Sumbu Horizontal

$$M_u = 193378800 \text{ Nmm}$$

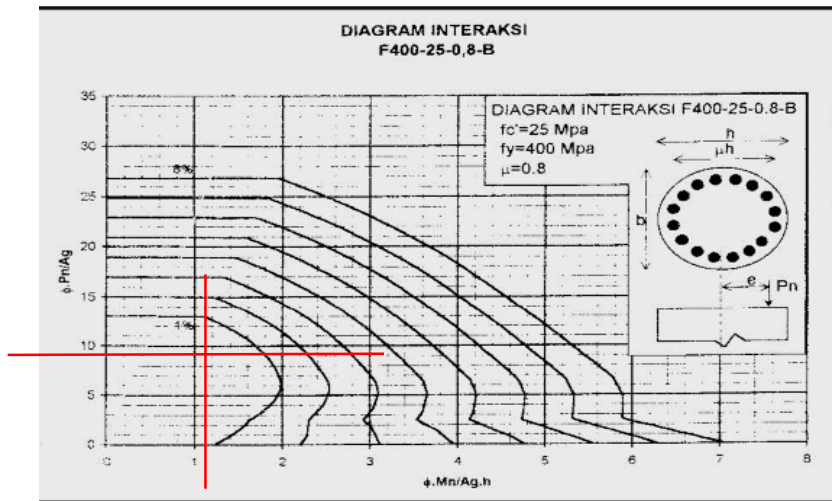
$$\begin{aligned}
 X &= \frac{M_u}{\frac{1}{4}\pi D^3} \\
 &= \frac{193378800 \text{ Nmm}}{\frac{1}{4}\pi \cdot 600^3} \\
 &= 1.14
 \end{aligned}$$

- Sumbu Vertikal

$$P_u = 2485193.772 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} Y &= \frac{P_u}{\frac{1}{4}\pi D^2} \\ &= \frac{2485193.772 \text{ N}}{\frac{1}{4}\pi 600^2} \\ &= 8.79 \end{aligned}$$

Hasil plot pada diagram interaksi



Gambar 4. 55 Diagram Interaksi Borepile

- Perhitungan tulangan

$$\rho = 0.01$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times A \text{ tiang}$$

$$= 0.01 \times \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$= 0.01 \times 282743.3388 \text{ mm}^2$$

$$= 2827 \text{ mm}^2$$

Direncanakan :

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$n = 12 \text{ buah}$$

$$As \text{ pasang} = 4562 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

$$As \text{ perlu} < As \text{ pasang}$$

$$2827 \text{ mm}^2 < 4562 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kontrol ρ terpasang

$$\rho \text{ pasang} = As \text{ pasang} / A \text{ tiang}$$

$$= 4562 \text{ mm}^2 / \frac{1}{4} \pi D^2$$

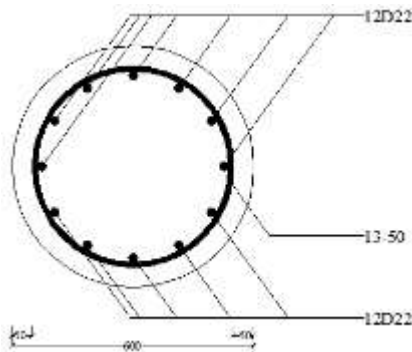
$$= 4562 \text{ mm}^2 / \frac{1}{4} \pi 600^2$$

$$= 0.016$$

$$= 1.6 \%$$

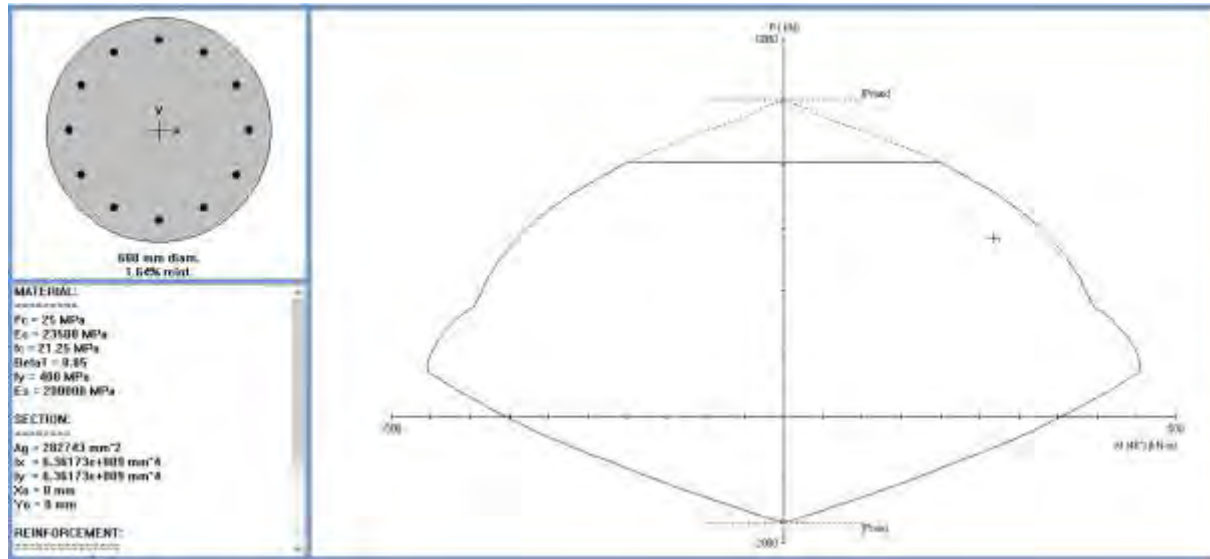
Sehingga tulangan borepile yang digunakan adalah 12D22

Gambar Hasil Tulangan Borepile



Gambar 4. 56 Tulangan Borepile

- Kontrol dengan PCACOL



Gambar 4. 57 Hasil Output PCACOL Borepile

d. Perhitungan geser spiral

○ Data perencanaan

- Mutu beton (f_c') : 25 Mpa
- Mutu Baja (f_y) : 400 Mpa
- Diameter tiang : 600 mm
- Diameter dalam tiang : 450 mm
- Kedalaman tiang : 20000 mm
- Selimut tiang : 75 mm
- Diameter tulangan : 13 mm

○ Perhitungan geser

$$\begin{aligned}
 A_{sv} &= \frac{1}{4} \pi d b^2 \\
 &= \frac{1}{4} \pi 13^2 \\
 &= 132.732 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_g &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \pi 600^2 \\
 &= 282743.3388 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{ch} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \pi 450^2 \\
 &= 159043.1281 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_s &= 0.45 \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \times \left(\frac{f_{c'}}{f_{yt}} \right) \\
 &= 0.45 \times \left(\frac{282743.3388}{159043.1281} - 1 \right) \times \left(\frac{25}{400} \right) \\
 &= 0.022
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{A_{sv} \times \pi \times (D_c - db)}{\frac{1}{4} \pi D_c^2 \times \rho_s} \\
 &= \frac{132.732 \times \pi \times (450 - 13)}{\frac{1}{4} \pi 450^2 \times 0.022} \\
 &= 52.38 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat Geser Spiral

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 7.10.4.3

$S_{\min} = 25 \text{ mm}$

$S_{\max} = 75 \text{ mm}$

Kontrol Geser Spiral

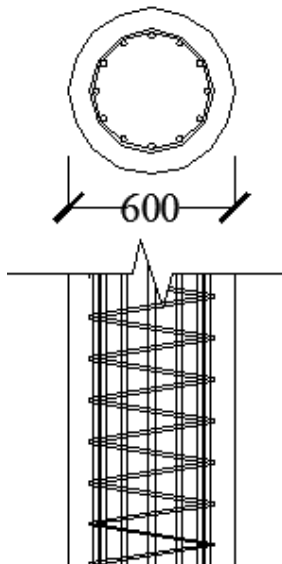
$S_{\min} < S < S_{\max}$

$25 \text{ mm} < 53 \text{ mm} < 75 \text{ mm}$

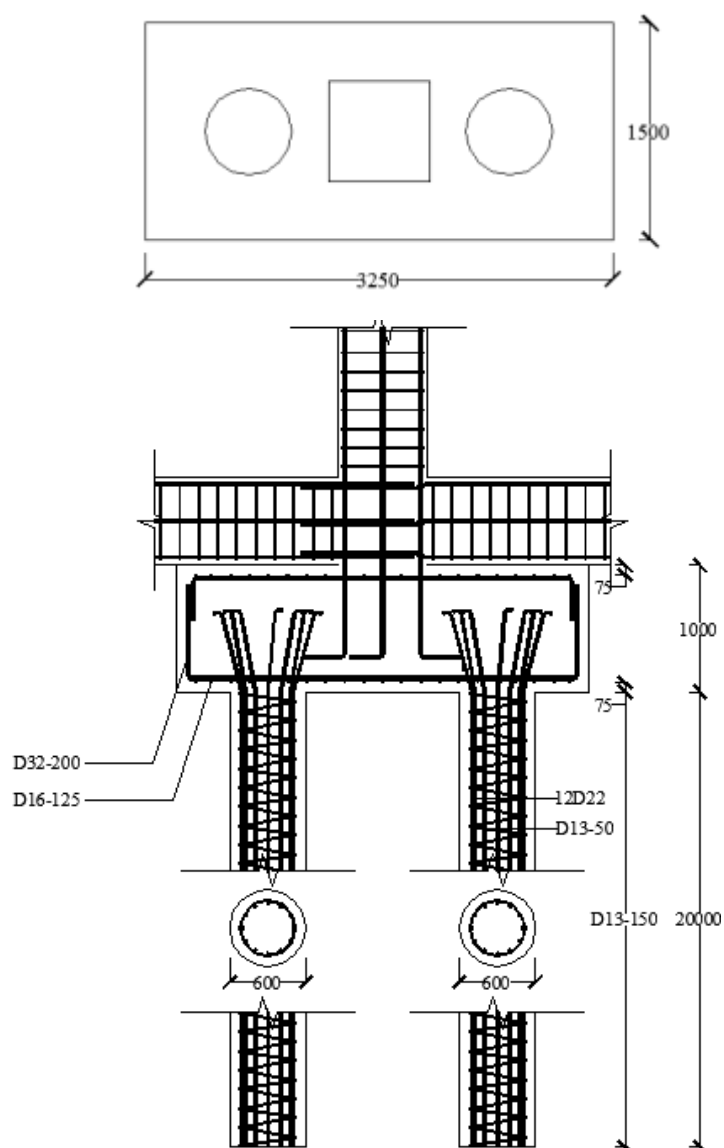
→ Memenuhi

Sehingga tulangan geser spiral borepile yang digunakan adalah D13-53

- Gambar tulangan geser



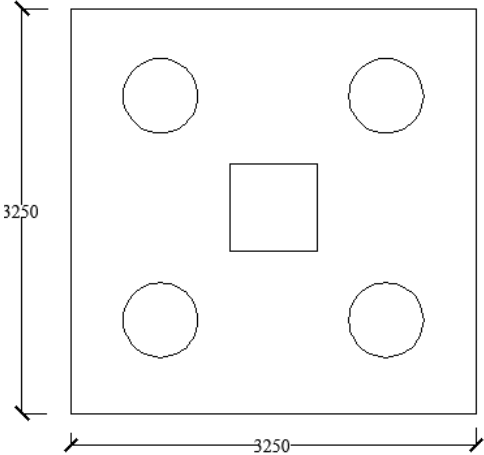
Gambar 4. 58 Tulangan Geser Borepile



Gambar 4. 59 Detail Penulangan Pondasi Tipe 1

4.3.1.4 Perhitungan Pondasi Tipe II

4.3.1.4.1 Perhitungan Pilecap



Gambar 4. 60 Pondasi Tipe 2

Diameter tiang : 0.6 m
Jumlah tiang : 4 buah
P tiang : $\frac{Pu}{n} \pm \frac{Mx.Y}{\sum Y^2} \pm \frac{My.X}{\sum X^2}$

Tabel 4. 6 Perhitungan Gaya Tiap Tiang

As	Pu	Mx	My	P1		P2		P3		P4		Σx²	Σy²	P1	P2	P3	P4	
	(Ton)	(Ton)	(Ton)	x	y	x	y	x	y	x	y			(Ton)	(Ton)	(Ton)	(Ton)	
B6	439.2	-3.198	-1.652	-0.9	0.90	0.9	0.90	-0.9	-0.9	0.9	-0.9	2.43	2.43	110.4	108	111.6	109.2	
B7	524.8	-0.078	-0.906	-0.9	0.90	0.9	0.90	-0.9	-0.9	0.9	-0.9	2.43	2.43	130.9	130.8	131.6	131.5	
B8	462.4	3.778	-0.356	-0.9	0.90	0.9	0.90	-0.9	-0.9	0.9	-0.9	2.43	2.43	114.1	116.9	114.3	117.1	
C2	507.6	-3.146	2.054	-0.9	0.90	0.9	0.90	-0.9	-0.9	0.9	-0.9	2.43	2.43	128.8	126.5	127.3	125	
C6	423.9	-3.419	0.056	-0.9	0.90	0.9	0.90	-0.9	-0.9	0.9	-0.9	2.43	2.43	107.3	104.7	107.2	104.7	
C7	535.8	-0.492	-1.039	-0.9	0.90	0.9	0.90	-0.9	-0.9	0.9	-0.9	2.43	2.43	133.8	133.4	134.5	134.2	
C8	518	1.398	0.395	-0.9	0.90	0.9	0.90	-0.9	-0.9	0.9	-0.9	2.43	2.43	129.1	130.2	128.8	129.9	
F7	416.9	-0.123	3.225	-0.9	0.90	0.9	0.90	-0.9	-0.9	0.9	-0.9	2.43	2.43	105.5	105.4	103.1	103	
F8	402.9	1.4	2.092	-0.9	0.90	0.9	0.90	-0.9	-0.9	0.9	-0.9	2.43	2.43	101	102	99.43	100.5	
G7	427.6	0.324	-2.761	-0.9	0.90	0.9	0.90	-0.9	-0.9	0.9	-0.9	2.43	2.43	105.7	106	107.8	108	
G8	405.4	1.609	-2.902	-0.9	0.90	0.9	0.90	-0.9	-0.9	0.9	-0.9	2.43	2.43	99.68	100.9	101.8	103	
														MAX	133.8	133.4	134.5	134.2

Gaya maksimum tiang P1, P2 dan P3 terdapat pada pondasi C7, maka perhitungan pilecap disesuaikan berdasarkan gaya terbesar tiang yaitu pada As C7.

Data Perencanaan

- Mutu beton (f_c') : 25 Mpa
- Mutu Baja (f_y) : 240 Mpa (untuk $\emptyset < 12$ mm)
- Mutu Baja (f_y) : 400 Mpa (untuk $D > 13$ mm)
- Diameter tiang : 600 mm
- Selimut tiang : 75 mm
- Jarak antar tiang : 1800 mm (3D)
- Jarak tiang ke tepi pilecap : 720 mm (1.2D)
- Jarak tiang ke tepi kolom : 550 mm
- Dimensi Kolom
 - Panjang : 700 mm
 - Lebar : 700 mm
- Dimensi Pilecap
 - Panjang : 3250 mm
 - Lebar : 3250 mm
 - Tebal : 1000 mm
- Tebal efektif : 850 mm

Perhitungan Panjang Penyaluran kolom ke pilecap

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2 untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir, l_{dc} harus diambil sebesar yang terbesar dari : $l_d = \frac{0.24 f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} db$ dan $l_d = 0.043 \cdot f_y \cdot db$.

$$\begin{aligned}
 l_d &= \frac{0.24 f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} db \\
 &= \frac{0.24 \times 400}{1 \sqrt{25}} 29 \\
 &= 614.4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ld &= 0.043 \cdot f_y \cdot db \\
 &= 0.043 \cdot 400 \cdot 29 \\
 &= 550.4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Panjang penyaluran kolom ke pilecap maksimum adalah 614.4 mm, sehingga tebal poer yang direncanakan harus lebih besar dari panjang penyaluran tersebut



Perhitungan Geser Pons

Perhitungan geser pons digunakan untuk merencanakan tebal pilecap yakni tebal pilecap harus memenuhi syarat kuat geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi.

- Geser pons akibat kolom

Diketahui P max dari output SAP 2000 kombinasi ultimate

$$P = 696.3 \text{ Ton}$$

$$\begin{aligned}
 P_u &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{696.3 \text{ Ton}}{3.25 \text{ m} \times 3.25 \text{ m}} \\
 &= 65.93 \text{ Ton/m}^2
 \end{aligned}$$

- a. Perhitungan geser pons satu arah

Beban Gaya Geser V_u (N)

$$V_u = P_u \times b_w \times L'$$

$$\begin{aligned}
 L' &= \frac{1}{2} B_{poer} - \frac{1}{2} L_{kolom} - d \\
 &= \frac{1}{2} 3.25 - \frac{1}{2} 0.7 - 0.85 \\
 &= 0.425 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka } V_u &= P_u \times b_w \times L' \\
 &= 65.93 \text{ Ton/m}^2 \times 3.25 \text{ m} \times 0.425 \text{ m} \\
 &= 101.774 \text{ T}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.1 gaya geser yang mampu dipikul oleh beton (V_c) adalah

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0.17 \times \sqrt{f'c'} \times b_w \times d \\
 &= 0.17 \times \sqrt{25} \times 3.25 \times 0.85 \\
 &= 221 \text{ T}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$V_u < \phi V_c$$

$$101.8 \text{ T} < 165.8 \text{ T} \rightarrow \text{memenuhi}$$

- b. Perhitungan geser pons dua arah
 Berdasarkan **SNI 03-2847-2013, Pasal 11.11.2.1 poin (a), (b), dan (c)**, untuk perencanaan pelat atau fondasi telapak aksi dua arah, untuk beton non-prategang, maka V_c harus memenuhi persamaan berikut dengan mengambil nilai V_c terkecil.

$$V_c = 0.17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times b_o \times d$$

Dimana :

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

$$\beta_c = 600/600 = 1$$

b_o = keliling dari penampang kritis

$$V_c = 0.083 \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} + 2 \right) \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times b_o \times d$$

Dimana :

$\alpha_s = 40$ untuk kolom tengah

$\alpha_s = 30$ untuk kolom tepi

$\alpha_s = 20$ untuk kolom sudut

$$V_c = 0.33 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times b_o \times d$$

Luasan tributary A_t (mm^2)

$$\begin{aligned}
 A_t &= (L_{\text{poer}} \times B_{\text{poer}}) - ((h_{\text{kolom}} + \text{tebal poer}) \times (\text{bkolom} + \text{tebal poer})) \\
 &= (3.25 \times 3.25) - ((0.7 + 0.85) \times (0.7 + 0.85)) \\
 &= 9.163 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Beban Gaya Geser V_u (N)

$$\begin{aligned}
 V_u &= P_u \times A_t \\
 &= 65.93 \text{ T} \times 9.163 \text{ m}^2 \\
 &= 604 \text{ T}
 \end{aligned}$$

Keliling dari penampang kritis (b_o)

$$\begin{aligned}
 b_o &= 2 \times (0.7 + 0.7) + 4 \times 0.85 \\
 &= 6.2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Geser yang dipikul oleh beton (V_c)

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0.17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times b_o \times d \\
 &= 0.17 \left(1 + \frac{2}{1} \right) \times 1 \times \sqrt{25} \times 6.2 \times 0.85 \\
 &= 13438500 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$V_u < \phi V_c$$

$$6040488.791 \text{ N} < 10078875 \text{ N} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0.083 \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} + 2 \right) \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times b_o \times d \\
 &= 0.083 \left(\frac{40 \times 0.85}{6.2} + 2 \right) \times 1 \times \sqrt{25} \times 6.2 \times 0.85 \\
 &= 16367600 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$V_u < \phi V_c$$

$$6040488.791 \text{ N} < 12275700 \text{ N} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0.33 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d \\
 &= 0.33 \times 1 \times \sqrt{25} \times 6.2 \times 0.85 \\
 &= 8695500 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$V_u < \phi V_c$$

$$6040488.791 \text{ N} < 6821625 \text{ N} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

- o Geser pons akibat bored pile

Diketahui P_{\max} dari output SAP 2000 kombinasi ultimate

$$P = 175 \text{ Ton}$$

$$\begin{aligned}
 P_u &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{175 \text{ Ton}}{3.25 \text{ m} \times 3.25 \text{ m}} \\
 &= 16.6 \text{ Ton/m}^2
 \end{aligned}$$

- a. Perhitungan geser pons dua arah

Berdasarkan **SNI 03-2847-2013, Pasal 11.11.2.1 poin (a), (b), dan (c)**, untuk perencanaan pelat atau fondasi telapak aksi dua arah, untuk beton non-prategang, maka V_c harus memenuhi persamaan berikut dengan mengambil nilai V_c terkecil.

$$V_c = 0.17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

Dimana :

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

$$\beta_c = 600/600 = 1$$

b_o = keliling dari penampang kritis

$$V_c = 0.083 \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} + 2 \right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

Dimana :

$\alpha_s = 40$ untuk kolom tengah

$\alpha_s = 30$ untuk kolom tepi

$\alpha_s = 20$ untuk kolom sudut

$$V_c = 0.33 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

Luasan tributary A_t (mm^2)

$A_t = A_{\text{poer}} - A_{\text{pondasi}}$

$$= (3.25 \times 3.25) - (1/4 \times \pi \times (0.6 + 0.85)^2)$$

$$= 8.91 \text{ m}^2$$

Beban Gaya Geser V_u (N)

$V_u = P_u \times A_t$

$$= 16.6 \text{ T} \times 8.91 \text{ m}^2$$

$$= 147 \text{ T}$$

Keliling dari penampang kritis (b_o)

$B_o = \pi \times (D + d)^2$

$$= \pi \times (0.6 + 0.85)^2$$

$$= 4.555 \text{ m}$$

Geser yang dipikul oleh beton (V_c)

$$V_c = 0.17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

$$= 0.17 \left(1 + \frac{2}{1} \right) \times 1 \times \sqrt{25} \times 4.555 \times 0.85$$

$$= 9873633.011 \text{ N}$$

Syarat :

$V_u < \phi V_c$

$$1474827.1 \text{ N} < 7405224.76 \text{ N} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$V_c = 0.083 \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} + 2 \right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.083 \left(\frac{40 \times 0.85}{4.555} + 2 \right) \times 1 \times \sqrt{25} \times 4.55 \times 0.85 \\
 &= 15207270.74 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$V_u < \phi V_c$$

$$1474827.1 \text{ N} < 11405453.1 \text{ N} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0.33 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d \\
 &= 0.33 \times 1 \times \sqrt{25} \times 4.555 \times 0.85 \\
 &= 6388821.36 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$V_u < \phi V_c$$

$$1474827.1 \text{ N} < 4791616.02 \text{ N} \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Berdasarkan perhitungan geser pons yang sudah memenuhi syarat maka tebal efektif pilecap yang direncanakan dapat digunakan dalam perhitungan.

4.3.1.4.2 Perhitungan Penulangan

a. Perhitungan tulangan arah x

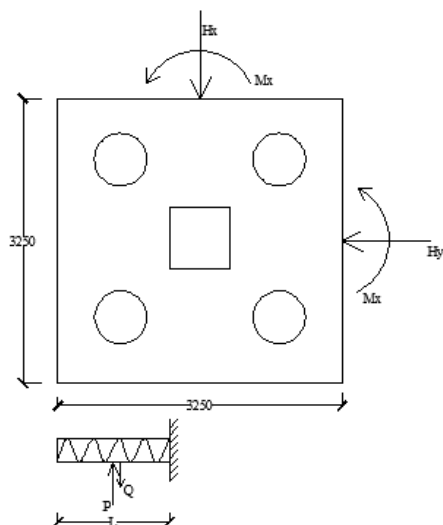
Pada perencanaan tulangan lentur, pilecap diasumsikan sebagai balok kantilever jepit dengan perletakan jepit pada kolom yang dibebani oleh reaksi tiang pancang dan berat sendiri pilecap. Pada perencanaan penulangan ini digunakan pengaruh beban sementara, dikarenakan P kombinasi ultimate lebih besar daripada P kombinasi ijin.

Tabel 4. 7 Gaya tiap Tiang Kombinasi Ultimate

As	Pu	Mx	My	P1		P2		P3		P4		Σx^2	Σy^2	P1	P2	P3	P4
	(Ton)	(Ton)	(Ton)	x	y	x	y	x	y	x	y			(Ton)	(Ton)	(Ton)	(Ton)
C7	696.3	-0.61	-1.349	-0.9	0.90	0.9	0.90	-0.9	-0.9	0.9	-0.9	2.43	2.43	173.8	173.4	174.8	174.4

Data Perencanaan :

- Mutu beton (f_c') : 25 Mpa
- Mutu Baja (f_y) : 240 Mpa (untuk $\emptyset < 12$ mm)
- Mutu Baja (f_y) : 400 Mpa (untuk $D > 13$ mm)
- Diameter tiang : 600 mm
- Selimut tiang : 75 mm
- Jarak antar tiang : 1800 mm (3D)
- Jarak tiang ke tepi pilecap : 720 mm (1.2D)
- Jarak tiang ke tepi kolom : 550 mm
- Dimensi Kolom
 - Panjang : 700 mm
 - Lebar : 700 mm
- Dimensi Pilecap
 - Panjang : 3250 mm
 - Lebar : 1500 mm
 - Tebal : 1000 mm
- Tebal efektif : 850 mm
- Diameter tulangan : 32 mm
- Jarak antar tulangan : 200 mm
- Tebal efektif arah x : t pilecap – selimut – $\frac{1}{2}D$
lentur
: 1000 mm – 75 mm – $\frac{1}{2} \times 25$
: 912.5 mm
- Tebal efektif arah y : t pilecap – selimut – D lentur –
 $\frac{1}{2}\emptyset$ geser
: 1000 mm – 75 mm – 25 mm –
 $\frac{1}{2} \times 25$ mm
: 888 mm



Gambar 4. 61 Arah Momen X Pilecap Tipe 2

Perhitungan Momen

$$\begin{aligned}
 q \text{ pilecap} &= \text{Berat Pilecap} \\
 &= 3.25 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 7800 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q \text{ pilecap} &= q \times \text{jarak tepi kolom ke tepi pilecap} \\
 &= 7800 \text{ kg/m} \times (0.75 \text{ m} + 0.55 \text{ m}) \\
 &= 9.906 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P \text{ max} &= 349.6 \text{ Ton} \\
 Mu &= (P \text{ max} \times \text{Jarak tiang ke tepi kolom}) - \\
 &\quad (1/2 \times Q \times \text{jarak tepi kolom ke tepi pilecap}) \\
 &= (349.6 \text{ Ton} \times 0.55 \text{ m}) - (1/2 \times 9.906 \text{ ton} \\
 &\quad \times (0.75 \text{ m} + 0.55 \text{ m})) \\
 &= 1860030610 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_u / \phi \\
 &= 1860030610 \text{ Nmm} / 0.9 \\
 &= 2066700678 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \times d x^2} \\
 &= \frac{1860030610}{1.5 \times 912.5} \\
 &= 0.764
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0.85 \times f_c'} \\
 &= \frac{400}{0.85 \times 25} \\
 &= 18.82
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18.82 \times 0.764}{400}} \right) \\
 &= 0.002
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{min}} &= 1.4 / f_y \\
 &= 1.4 / 400 \\
 &= 0.0035
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{balance}} &= \frac{0.85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0.85 \times 0.85 \times 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\
 &= 0.027
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{max}} &= 0.75 \times \rho_{\text{balance}} \\
 &= 0.75 \times 0.027 \\
 &= 0.02
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0.0035 < 0.002 < 0.02$$

→ Tidak memenuhi

Karena ρ_{perlu} lebih kecil daripada ρ_{\min} maka ρ yang digunakan adalah ρ_{\min} yaitu 0.0035

Luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times d_x \\ &= 0.035 \times 3250 \text{ mm} \times 912.5 \text{ mm} \\ &= 10380 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan yang digunakan:

$$D = 25 \text{ mm}$$

$$S = 150 \text{ mm}$$

$$\text{As} = 10636 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

$$\text{As perlu} < \text{As pakai}$$

$$10380 \text{ mm}^2 < 10636 \text{ mm}^2$$

→ Memenuhi

Syarat spasi antar tulangan

$$S_{\max} = d/4 = 228 \text{ mm}$$

$$= 8 \times D_{\text{lentur}} = 200 \text{ mm}$$

$$= 24 \times \emptyset_{\text{geser}} = 600 \text{ mm}$$

$$= 300 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

Kontrol spasi antar tulangan

$$S_{\text{pakai}} < S_{\max}$$

$$150 \text{ mm} < 200 \text{ mm}$$

→ Memenuhi

Periksa kemampuan tulangan

$$T = \text{As} \times f_y$$

$$= 10636 \times 400$$

$$= 4254240.052 \text{ N}$$

$$a = \frac{T}{0.85 \times f_c' \times b}$$

$$= \frac{4254240.052}{0.85 \times 25 \times 3250}$$

$$= 61.6 \text{ mm}$$

$$M_{\text{kap}} = T \times (d - a/2) \times \phi$$

$$= 4254240.052 \times (912.5 - 61.6/2) \times 0.9$$

$$= 3000771008 \text{ Nmm}$$

Kontrol Momen kapasitas

$M_u < M_{\text{kap}}$

$1860030610 \text{ Nmm} < 3000771008 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Memenuhi}$

Sehingga tulangan D25 – 150 dapat digunakan sebagai tulangan lentur pilecap (tulangan arah x)

c. Perhitungan tulangan arah y

Pada perencanaan tulangan lentur, pilecap diasumsikan sebagai balok kantilever jepit dengan perletakan jepit pada kolom yang dibebani oleh reaksi tiang pancang dan berat sendiri pilecap. Pada perencanaan penulangan ini digunakan pengaruh beban sementara, dikarenakan P kombinasi ultimate lebih besar daripada P kombinasi ijin.

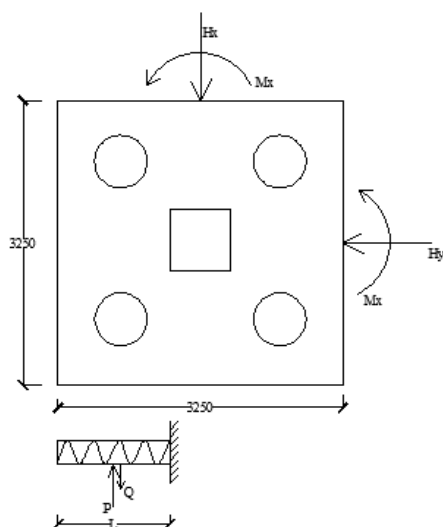
Tabel 4. 8 Gaya tiap Tiang Kombinasi Ultimate

As	Pu	Mx	My	P1		P2		P3		P4		Σx^2	Σy^2	P1	P2	P3	P4
	(Ton)	(Ton)	(Ton)	x	y	x	y	x	y	x	y			(Ton)	(Ton)	(Ton)	(Ton)
C7	696.3	-0.61	-1.349	-0.9	0.90	0.9	0.90	-0.9	-0.9	0.9	-0.9	2.43	2.43	173.8	173.4	174.8	174.4

Data Perencanaan :

- Mutu beton (f_c') : 25 Mpa
- Mutu Baja (f_y) : 240 Mpa (untuk $\emptyset < 12 \text{ mm}$)
- Mutu Baja (f_y) : 400 Mpa (untuk $D > 13 \text{ mm}$)
- Diameter tiang : 600 mm
- Selimut tiang : 75 mm
- Jarak antar tiang : 1800 mm (3D)

- Jarak tiang ke tepi pilecap : 720 mm (1.2D)
- Jarak tiang ke tepi kolom : 550 mm
- Dimensi Kolom
 - Panjang : 700 mm
 - Lebar : 700 mm
- Dimensi Pilecap
 - Panjang : 3250 mm
 - Lebar : 1500 mm
 - Tebal : 1000 mm
- Tebal efektif : 850 mm
- Diameter tulangan : 32 mm
- Jarak antar tulangan : 200 mm
- Tebal efektif arah x : $t_{\text{pilecap}} - \text{selimut} - \frac{1}{2}D_{\text{lentur}}$
 - : $1000 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - \frac{1}{2} \times 25$
 - : 912.5 mm
- Tebal efektif arah y : $t_{\text{pilecap}} - \text{selimut} - D_{\text{lentur}} - \frac{1}{2}\phi_{\text{geser}}$
 - : $1000 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - 25 \text{ mm} - \frac{1}{2} \times 25 \text{ mm}$
 - : 888 mm



Gambar 4. 62 Arah Momen Y Pilecap Tipe 2

Perhitungan Momen

$$\begin{aligned}
 q \text{ pilecap} &= \text{Berat Pilecap} \\
 &= 3.25 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 7800 \text{ kg/m} \\
 Q \text{ pilecap} &= q \times \text{jarak tepi kolom ke tepi pilecap} \\
 &= 7800 \text{ kg/m} \times (0.75 \text{ m} + 0.55 \text{ m}) \\
 &= 9.906 \text{ Ton} \\
 P \text{ max} &= 349.6 \text{ Ton} \\
 Mu &= (P \text{ max} \times \text{Jarak tiang ke tepi kolom}) - \\
 &\quad (1/2 \times Q \times \text{jarak tepi kolom ke tepi pilecap}) \\
 &= (349.6 \text{ Ton} \times 0.55 \text{ m}) - (1/2 \times 9.906 \text{ ton} \\
 &\quad \times (0.75 \text{ m} + 0.55 \text{ m})) \\
 &= 1860030610 \text{ Nmm} \\
 Mn &= Mu/\phi \\
 &= 1860030610 \text{ Nmm} / 0.9 \\
 &= 2066700678 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \times d x^2} \\
 &= \frac{1860030610}{1.5 \times 912.5} \\
 &= 0.764
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0.85 \times f_c'} \\
 &= \frac{400}{0.85 \times 25} \\
 &= 18.82
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18.82 \times 0.764}{400}} \right) \\
 &= 0.002
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{min}} &= 1.4/f_y \\
 &= 1.4/400 \\
 &= 0.0035
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{balance}} &= \frac{0.85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0.85 \times 0.85 \times 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\
 &= 0.027
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{max}} &= 0.75 \times \rho_{\text{balance}} \\
 &= 0.75 \times 0.027 \\
 &= 0.02
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$$

$$0.0035 < 0.002 < 0.02$$

→ Tidak memenuhi

Karena ρ_{perlu} lebih kecil daripada ρ_{min} maka ρ yang digunakan adalah ρ_{min} yaitu 0.0035

Luasan tulangan yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho \times b \times d_y \\
 &= 0.035 \times 3250 \text{ mm} \times 888 \text{ mm} \\
 &= 10095 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan yang digunakan:

$$\begin{aligned}
 D &= 25 \text{ mm} \\
 S &= 150 \text{ mm} \\
 \text{As} &= 10636 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luasan tulangan

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &< \text{As pakai} \\
 10095 \text{ mm}^2 &< 10636 \text{ mm}^2 & \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan

$$\begin{aligned}
 S_{\text{max}} &= d/4 = 221.9 \text{ mm} \\
 &= 8 \times D_{\text{lentur}} = 200 \text{ mm} \\
 &= 24 \times \emptyset_{\text{geser}} = 600 \text{ mm} \\
 &= 300 \text{ mm} = 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol spasi antar tulangan

$$\begin{aligned}
 S_{\text{pakai}} &< S_{\text{max}} \\
 150 \text{ mm} &< 200 \text{ mm} & \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Periksa kemampuan tulangan

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \times f_y \\
 &= 10636 \times 400 \\
 &= 4254240.052 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{T}{0.85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{4254240.052}{0.85 \times 25 \times 3250} \\
 &= 61.6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$M_{\text{kap}} = T \times (d - a/2) \times \phi$$

$$\begin{aligned} &= 4254240.052 \times (888 - 61.6/2) \times 0.9 \\ &= 2915686207 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol Momen kapasitas

$M_u < M_{kap}$

$1860030610 \text{ Nmm} < 2915686207 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Memenuhi}$

Sehingga tulangan D25 – 150 dapat digunakan sebagai tulangan lentur pilecap (tulangan arah y)

4.3.1.4.3 Perhitungan Borepile

a. Data perencanaan

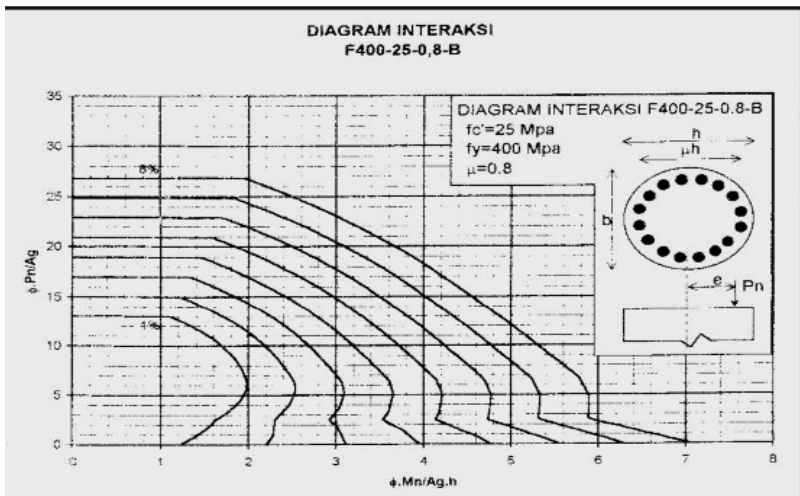
- Mutu beton (f_c') : 25 Mpa
- Mutu Baja (f_y) : 240 Mpa (untuk $\emptyset < 12$ mm)
- Mutu Baja (f_y) : 400 Mpa (untuk $D > 13$ mm)
- Diameter tiang : 600 mm
- Kedalaman tiang : 20000 mm
- Selimut tiang : 75 mm

b. Periksa diagram interaksi

$$\begin{aligned}\mu h &= D \text{ tiang} - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \emptyset \text{geser} - D \text{ lentur} \\ &= 600 - 2 \times 50 - 2 \times 13 - 22 \\ &= 452 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{\mu h}{D \text{ tiang}} \\ &= \frac{452}{600} \\ &= 0.753\end{aligned}$$

Sehingga digunakan diagram interaksi sebagai berikut :



Gambar 4. 63 Diagram Interaksi Borepile

c. Perhitungan

- Mencari p menggunakan diagram interaksi
Gaya dalam diambil dari *show table joint reaction*
program SAP 2000 dengan kombinasi ultimate.
Didapatkan hasil sebagai berikut :

TABLE: Joint Reactions									
Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	StepType Text	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	M1 Kgf-m	M2 Kgf-m	M3 Kgf-m
9150	COMB1U	Combination		1619.83	237.62	696345.57	-610.19	-1349.37	-2.43
9150	COMB2U	Combination		744.9	-378.62	616388.14	103.67	-2030.24	-5.41
9150	COMB3U (1.2+0.25DS)D+0.3*3Ex+1*3Ey+L	Combination	Max	9631.87	23685.81	644096.09	35324.11	10746.93	235.42
9150	COMB3U (1.2+0.25DS)D+0.3*3Ex+1*3Ey+L	Combination	Min	-6896.86	-23498.18	640169.53	-36541.64	-13239.56	-239.93
9150	COMB3U (1.2+0.25DS)D+1*3Ex+0.3*3Ey+L	Combination	Max	24648.68	9393.67	643594.39	12508.22	32801.16	390.7
9150	COMB3U (1.2+0.25DS)D+1*3Ex+0.3*3Ey+L	Combination	Min	-21913.67	-9206.03	640671.23	-13725.75	-35293.79	-395.21
					MAX	696345.57	35324.11	32801.16	

Gambar 4. 64 Hasil Output SAP2000 Kombinasi Ultimate

$$P_u = 2485193.772 \text{ N}$$

$$H_x = 24858.21 \text{ kg}$$

$$H_y = 40155 \text{ kg}$$

$$M_x = \frac{36832.8 \text{ kgm}}{2}$$

$$= 18416 \text{ kgm}$$

$$M_y = \frac{38676 \text{ kgm}}{2}$$

$$= 19338 \text{ kgm}$$

$$M_u = 19338 \text{ kgm}$$

Input pada diagram interaksi

- Sumbu Horizontal

$$M_u = 193378800 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{M_u}{\frac{1}{4}\pi D^3} \\
 &= \frac{193378800 \text{ Nmm}}{\frac{1}{4}\pi \cdot 600^3} \\
 &= 1.14
 \end{aligned}$$

- Sumbu Vertikal

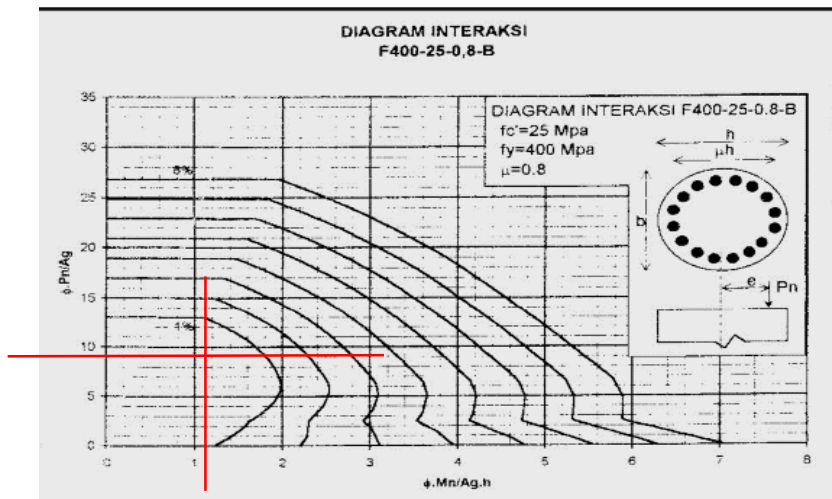
$$P_u = 2485193.772 \text{ N}$$

$$Y = \frac{P_u}{\frac{1}{4}\pi D^2}$$

$$= \frac{2485193.772 \text{ N}}{\frac{1}{4}\pi 600^2}$$

$$= 8.79$$

Hasil plot pada diagram interaksi



Gambar 4. 65 Diagram Interaksi Borepile

- Perhitungan tulangan

$$\rho = 0.01$$

$$\text{As perlu} = \rho \times A \text{ tiang}$$

$$= 0.01 \times \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$= 0.01 \times 282743.3388 \text{ mm}^2$$

$$= 2827 \text{ mm}^2$$

Direncanakan :

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$n = 12 \text{ buah}$$

$$A_s \text{ pasang} = 4562 \text{ mm}^2$$

Kontrol luasan tulangan

$$A_s \text{ perlu} < A_s \text{ pasang}$$

$$2827 \text{ mm}^2 < 4562 \text{ mm}^2$$

→ Memenuhi

Kontrol ρ terpasang

$$\rho \text{ pasang} = A_s \text{ pasang} / A \text{ tiang}$$

$$= 4562 \text{ mm}^2 / \frac{1}{4} \pi D^2$$

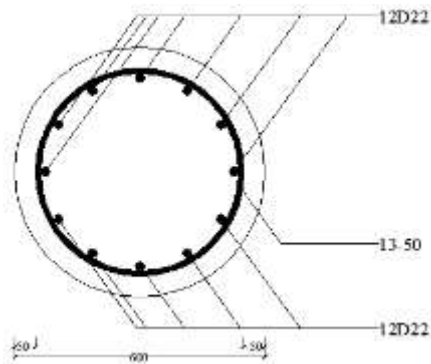
$$= 4562 \text{ mm}^2 / \frac{1}{4} \pi 600^2$$

$$= 0.016$$

$$= 1.6 \%$$

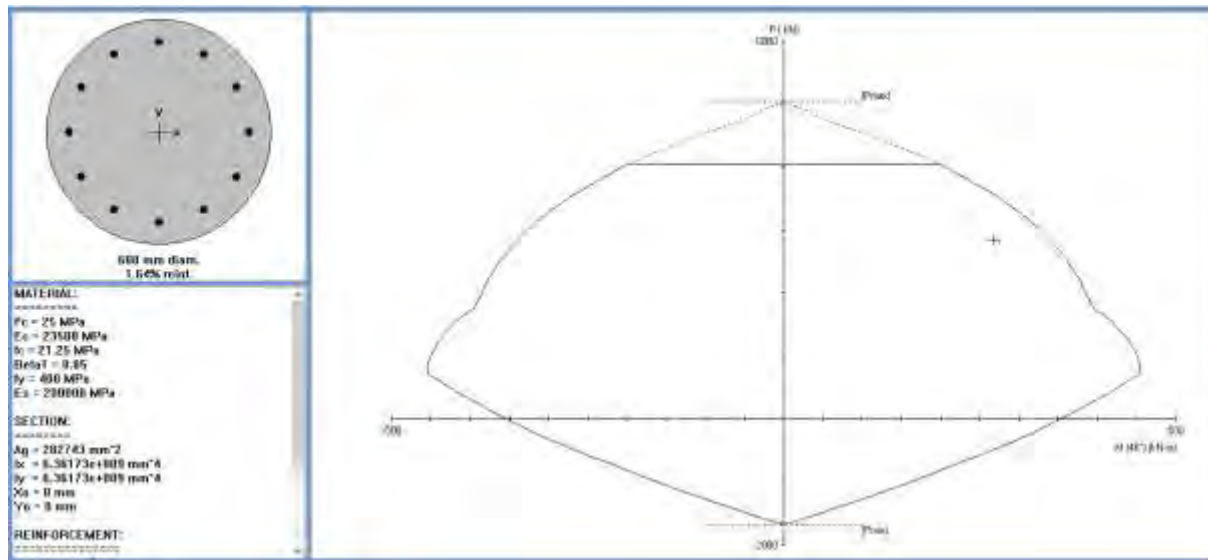
Sehingga tulangan borpile yang digunakan adalah 12D22

Gambar Hasil Tulangan Borepile



Gambar 4. 66 Tulangan Borepile

- Kontrol dengan PCACOL



d. Perhitungan geser spiral

○ Data perencanaan

- Mutu beton (f_c') : 25 Mpa
- Mutu Baja (f_y) : 400 Mpa
- Diameter tiang : 600 mm
- Diameter dalam tiang : 450 mm
- Kedalaman tiang : 20000 mm
- Selimut tiang : 75 mm
- Diameter tulangan : 13 mm

○ Perhitungan geser

$$\begin{aligned} A_{sv} &= \frac{1}{4} \pi d b^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi 13^2 \\ &= 132.732 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_g &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi 600^2 \\ &= 282743.3388 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{ch} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi 450^2 \\ &= 159043.1281 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_s &= 0.45 \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \times \left(\frac{f_c'}{f_{yt}} \right) \\ &= 0.45 \times \left(\frac{282743.3388}{159043.1281} - 1 \right) \times \left(\frac{25}{400} \right) \\ &= 0.022 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= \frac{A_{sv} \times \pi \times (D_c - db)}{\frac{1}{4} \pi D_c^2 \times \rho_s} \\ &= \frac{132.732 \times \pi \times (450 - 13)}{\frac{1}{4} \pi 450^2 \times 0.022} \\ &= 52.38 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat Geser Spiral

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 7.10.4.3

$S_{\min} = 25 \text{ mm}$

$S_{\max} = 75 \text{ mm}$

Kontrol Geser Spiral

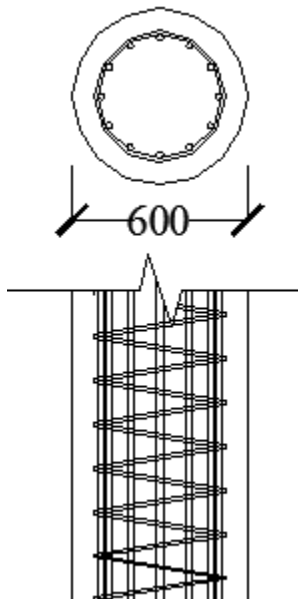
$S_{\min} < S < S_{\max}$

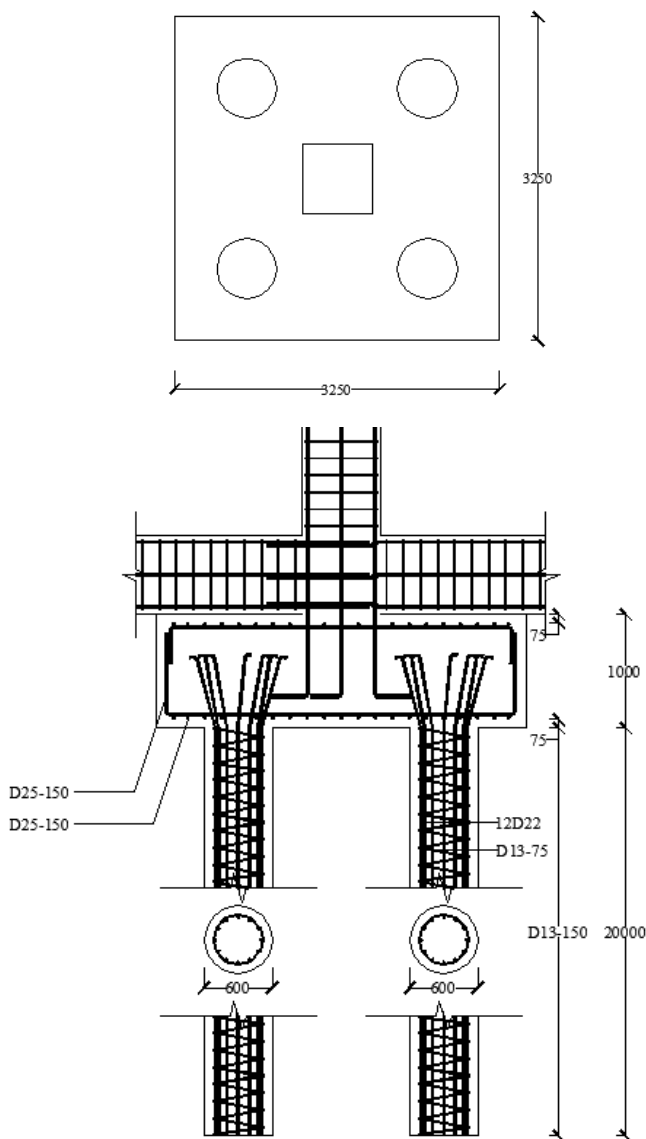
$25 \text{ mm} < 53 \text{ mm} < 75 \text{ mm}$

→ Memenuhi

Sehingga tulangan geser spiral borepile yang digunakan adalah D13-53

- Gambar tulangan geser





Gambar 4. 67 Detail Penulangan Pondasi Tipe 2

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari perhitungan beton bertulang yang telah diuraikan merupakan hasil perencanaan gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya dengan metode sistem rangka pemikul momen menengah

a. Perencanaan Awal

1. Perencanaan Dimensi Balok
 - Balok Induk B1 40/70
 - Balok Anak BA1 30/50
 - Balok Kantilever BK1 40/70
 - Balok Bordes BB 40/50
2. Perencanaan Dimensi Kolom
 - Kolom K1 70/70
 - Kolom KL1 D40
3. Perencanaan Dimensi Sloof
 - Sloof S1 50/70
4. Perencanaan Dimensi Pelat
 - Pelat Lantai Parkir Tebal 15 cm
 - Pelat Lantai tebal 12 cm
 - Pelat Atap tebal 12 cm
5. Perencanaan Dimensi Tangga
 - Pelat tangga tebal 15 cm
 - Pelat bordes tebal 15 cm

b. Perhitungan Penulangan

1. Penulangan Pelat
 - Pelat lantai untuk parkir
Pelat Lantai Tipe 1 (3500 x 3500)
 - Tumpuan arah x = Ø12-125
 - Tumpuan arah y = Ø12-125

- Lapangan arah x = Ø12-250
 - Lapangan arah y = Ø12-250
 - Tulangan susut = Ø8-200
 - Pelat Lantai 1
 - Pelat Lantai Tipe 1 (3500 x 3500)
 - Tumpuan arah x = Ø12-200
 - Tumpuan arah y = Ø12-200
 - Lapangan arah x = Ø12-200
 - Lapangan arah y = Ø12-200
 - Tulangan susut = Ø8-200
 - Pelat Atap
 - Pelat Atap Tipe 1 (3500 x 3500)
 - Tumpuan arah x = Ø12-200
 - Tumpuan arah y = Ø12-200
 - Lapangan arah x = Ø12-200
 - Lapangan arah y = Ø12-200
 - Tulangan susut = Ø8-200
2. Penulangan Tangga
- Pelat Tangga Tipe 1
 - Lapangan arah x = Ø16-100
 - Tumpuan arah x = Ø16-100
 - Lapangan arah y = Ø13-125
 - Tumpuan arah y = Ø13-125
 - Pelat Bordes
 - Lapangan arah x = Ø14-125
 - Tumpuan arah x = Ø14-125
 - Lapangan arah y = Ø16-125
 - Tumpuan arah y = Ø16-125
3. Penulangan Balok Induk BI
- Tulangan torsi = 4D19
 - Lentur tumpuan kiri

- Tarik = 11D22
- Tekan = 4D22
- Lentur lapangan
 - Tarik = 5D22
 - Tekan = 4D22
- Lentur tumpuan kanan
 - Tarik = 11D22
 - Tekan = 4D22
- Geser tumpuan = Ø12-50
- Geser lapangan
 - Lapangan 1 meter = Ø12-125
 - Lapangan 2 meter = Ø12-150
 - Lapangan 3 meter = Ø12-150
- 4. Penulangan Balok Bordes
 - Tulangan torsi = 4D22
 - Lentur tumpuan kiri
 - Tarik = 7D22
 - Tekan = 4D22
 - Lentur lapangan
 - Tarik = 4D22
 - Tekan = 4D22
 - Lentur tumpuan kanan
 - Tarik = 7D22
 - Tekan = 4D22
 - Geser tumpuan = Ø12-50
 - Geser lapangan
 - Lapangan 1 meter = Ø12-125
 - Lapangan 2 meter = Ø12-150
 - Lapangan 3 meter = Ø12-150
- 5. Penulangan Kolom
 - Tulangan lentur = 8D29
 - Tulangan geser = Ø10-150
 - Panjang penyaluran = 1000 mm
- 6. Penulangan Pilecap

- Pilecap Tipe 1
 - Tulangan arah x = D32-200
 - Tulangan arah y = D16-125
- Pilecap Tipe 2
 - Tulangan arah x = D25-150
 - Tulangan arah y = D25-150
- 7. Penulangan Borepile
 - Borepile tipe 1
 - Lentur dan aksial = 12D22
 - Geser = Ø12-50
 - Borepile tipe 2
 - Lentur dan aksial = 12D22
 - Geser = Ø12-50

5.2 Saran

Perlu dilakukan studi lebih lanjut dan mendalam untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dengan mempertimbangkan aspek teknis, nilai ekonomis dan estetika, sehingga hasil dari perbandingan yang telah dilakukan akan menjadi semakin lengkap

DAFTAR PUSTAKA

- Chu-Kia Wang, Charles G. Salmon, Binsar Hariandja. (1994).
DISAIN BETON BERTULANG Jilid 1. Jakarta:
PENERBIT ERLANGGA.
- Chu-Kia Wang, Charles G. Salmon, Binsar Hariandja. (1996).
DISAIN BETON BERTULANG Jilid 2. Bandung:
PENERBIT ERLANGGA.
- Ir. Suyono Sosrodarsono, Kazuto Nakazawa. (1983). *Mekanika Tanah Dan Teknik Pondasi*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Umum, D. P. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Bangunan Gedung (PPIUG)*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Umum, D. P. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta.
- Umum, D. P. (2013). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta.

BIOGRAFI PENULIS

PUTRI BARROTUT TAQIYAH



Penulis dilahirkan di Gresik 28 September 1995. Merupakan anak pertama dari empat bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TKM Muslimat 11 Al-Asyhar, MI Al-Asyhar, MTs Al-Asyhar, SMAN 1 Manyar. Setelah lulus SMAN 1 Manyar pada tahun 2013, penulis mengikuti tes seleksi masuk ITS. Penulis terdaftar menjadi mahasiswa jurusan

Diploma III Teknik Sipil FTSP-ITS dengan NRP 3113.030.060 tahun 2013. Penulis mengambil konsentrasi bangunan gedung. Penulis pernah berpartisipasi dalam kegiatan Program Kreativitas Mahasiswa Gagasan Tertulis (PKM-GT) dan berhasil didanai oleh DIKTI pada tahun 2014.

BIOGRAFI PENULIS

YOGI DWI HAKIKI PUTRA



Penulis dilahirkan di Surabaya 2 November 1995. Merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Alizah, SDN Bubutan IV/72 Surabaya, SMPN 3 Surabaya, SMAN 4 Surabaya. Setelah lulus SMAN 4 Surabaya pada tahun 2013, penulis terdaftar menjadi mahasiswa jurusan Diploma III Teknik Sipil FTSP-ITS dengan NRP 3113.030.078 tahun 2013. Penulis pernah menjuarai Pertandingan Catur Tingkat Nasional kategori mahasiswa mewakili ITS.